



ENGENHARIA AMBIENTAL SUBTERRÂNEA
E APLICAÇÕES

ENGENHARIA
AMBIENTAL
SUBTERRÂNEA
E APLICAÇÕES

Autores:
Vidal Félix Navarro Torres
Carlos Dinis da Gama

Editor:
Roberto C.
Villas-Bôas



ENGENHARIA AMBIENTAL SUBTERRÂNEA E APLICAÇÕES

Autores:

Vidal Félix Navarro Torres

Carlos Dinis da Gama

Editor:

Roberto C. Villas-Bôas

ENGENHARIA AMBIENTAL SUBTERRÂNEA E APLICAÇÕES

Copias extras:
Roberto C. Villas Bôas
CETEM/CYTED/CNPq
Rua 4, Quadra D, Cidade Universitária
21941-590, Ilha do Fundão
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
Tel.: 55 21 3865-7219 Fax: 55 21 3865-7232

Fátima Engel
Composição e Execução Gráfica

Torres, Vidal Felix Navarro

Engenharia ambiental subterrânea e aplicações / Vidal Felix Navarro Torres, Carlos Diniz da Gama, Roberto C. Villas-Bôas (ed.). - Rio de Janeiro: CETEM/CYTED, 2005

550p.: il

1. Engenharia ambiental 2. Desenvolvimento Sustentável.
I. Centro de Tecnologia Mineral II. Gama, Carlos Diniz da.
III. Villas Boas, Roberto C. (ed.). IV. Título

ISBN 85-7227-210-0

CDD 628.16832

A apresentação

*D*efinem os autores o ambiente subterrâneo "como o meio subterrâneo onde acontece a interação dos quatro domínios ambientais que são: atmosfera subterrânea, água subterrânea, rocha e as componentes biológicas (principalmente o homem)".

A partir daí nos levam a nós, leitores ávidos por uma boa literatura técnica em língua ibérica, mormente em Português, por toda uma viagem à engenharia ambiental pelo interior das rochas, através do proposto "Sistema de Gestão Ambiental Subterrâneo (SGAS)".

A par das análises e discussões teóricas, norteadoras e balizadoras das questões abordadas, apresentam-nos aplicações a minas portuguesas e peruanas, homenageando, destarte, a estes dois simbólicos países da História comum havida na Península Ibérica e Continente Americano, tão rica e sedutora, que pelas minas começou, estremeceu e se uniu !

Aos colegas Dinis e Vidal, só nos resta agradecer, pela grata oportunidade de nos transportar por este maravilhoso e desafiador mundo subterrâneo, literatura que só enriquece a Engenharia de Minas !

Rio de Janeiro, Maio de 2005

Roberto C. Villas Bôas

Coordenador Internacional CYTED-XIII
<http://w3.cetem.gov.br/cyted-xiii>

Índice

Resumo

Abstract

Agradecimento

PRIMEIRA PARTE: O AMBIENTE E A INDÚSTRIA EXTRACTIVA

CAPITULO 1: A CRESCENTE IMPORTÂNCIA DA ENGENHARIA AMBIENTAL

1.1. Introdução	7
1.2. Conceitos ecológicos.....	7
1.3. Evolução da temática ambiental.....	15
1.4. Desenvolvimento sustentável.....	19
1.5. O solo e os impactos ambientais	21
1.6. A água e a contaminação.....	24
1.7. Poluição da atmosfera	34
1.8. As mudanças climáticas	41
1.9. Técnicas de análise ambiental.....	44
1.10. Avaliação do impacte ambiental	45
1.11. O ciclo de vida do produto	49
1.12. Normas da série ISO 14000	50
1.13. Custo ambiental.....	55

CAPITULO 2: METODOLOGIA PARA MINAS SUBTERRÂNEAS

2.1. Mineração e o ambiente	59
2.2. Concepção do ambiente subterrâneo.....	65
2.3. Ambiente, saúde e segurança	70
2.4. Situação actual da engenharia ambiental subterrânea	72
2.5. Proposta da engenharia ambiental subterrânea	74
2.6. Minas subterrâneas para a aplicação do estudo.....	77

SEGUNDA PARTE: GESTÃO DO AMBIENTE SUBTERRÂNEO

CAPITULO 3: CONTAMINAÇÃO DA ATMOSFERA SUBTERRÂNEA

3.1. Temperatura	81
3.2. Gases tóxicos no ambiente subterrâneo	113
3.3. Poeiras no ambiente subterrâneo.....	129
3.4. Velocidade e caudal de ar	147
3.5. Iluminação e radiação	159
3.6. Explosão e incêndio	172
3.7. O ruído na atmosfera subterrânea	192

CAPITULO 4: ÁGUA SUBTERRÂNEA E DRENAGEM ÁCIDA

4.1. Efeitos ambientais pela alteração das condições naturais das águas subterrâneas	211
--	-----

4.2. Fontes de riscos ambientais relacionadas a águas subterrâneas	214
4.3. Caracterização de águas subterrâneas	219
4.4. Padrões e normas sobre a qualidade da água	226
4.5. Matriz base para a identificação do risco ambiental devido à alteração da água subterrânea	231
4.6. Medidas correctivas para o impacte ambiental em relação a água subterrânea	232
4.7. Monitorização e controle	238
CAPÍTULO 5: INSTABILIDADE E DESABAMENTO DE ROCHAS	241
5.1. Efeitos da instabilidade e desabamento de rochas	241
5.2. Causas da instabilidade e desabamento das rochas	242
5.3. Caracterização geotécnica das rochas hospedeiras do ambiente subterrâneo	243
5.4. Padrões geotécnicos	256
5.5. Matriz base para a identificação do nível de impacte ambiental geotécnico	260
5.6. Medidas correctivas para atenuar o impacte ambiental geotécnico	261
5.7. Monitorização e controle geotécnico	272
CAPÍTULO 6: ECONOMIA DO AMBIENTE SUBTERRÂNEO	275
6.1. Custo ambiental na indústria mineira.....	275
6.2. Processo do plano de protecção e o custo ambiental	279
6.3. Custos de protecção ambiental.....	281
6.4. Análise do valor presente.....	286
6.5. Análise de sensibilidade.....	288
6.6. Relação de custo/benefício na gestão ambiental	289
TERCEIRA PARTE: APLICAÇÃO A MINAS PORTUGUESAS E PERUANAS	
CAPÍTULO 7: APLICAÇÃO À MINA DE NEVES CORVO.....	295
7.1. Introdução	295
7.2. Definição do âmbito de acção	296
7.3. Contaminação da atmosfera subterrânea.....	302
7.4. Impacte ambiental geotécnico.....	333
CAPÍTULO 8: APLICAÇÃO À MINA DA PANASQUEIRA	345
8.1. Introdução	345
8.2. Definição do âmbito de acção	345
8.3. Avaliação do impacte ambiental na atmosfera subterrânea	348
8.4. Avaliação do risco ambiental acústico no ambiente subterrâneo.....	370
8.5. Avaliação do risco ambiental no domínio ambiental de água subterrânea	382
8.6. Avaliação do risco ambiental devido a vibrações do maciço rochoso	396
CAPÍTULO 9: APLICAÇÃO À MINA DE SAN RAFAEL	401
9.1. Introdução	401
9.2. Definição do âmbito de acção	401
9.3. Caracterização térmica e dinâmica da atmosfera subterrânea.....	407

9.4. Identificação do risco ambiental térmico, dinâmico e volumétrico	414
9.5. Alternativas de mitigação do risco ambiental térmico, dinâmico e volumétrico	416
QUARTA PARTE: APLICAÇÃO A NOVOS PROJECTOS E SISTEMAS DE GESTÃO AMBIENTAL SUBTERRÂNEA	
CAPÍTULO 10: ANÁLISE DE CASOS ESTUDADOS	425
10.1. Introdução	425
10.2. Localização e informações gerais das três minas	425
10.3. Impacte ambiental térmico	425
10.4. Impacte ambiental dinâmico e volumétrico no ar	429
10.5. Impacte ambiental acústico	436
10.6. Água subterrânea e impacte ambiental.....	441
10.7. Instabilidade e desabamento de rochas	444
CAPÍTULO 11: APLICAÇÃO A NOVOS PROJECTOS	447
11.1. Introdução	447
11.2. Metodologia proposta.....	448
11.3. Análise do projecto de exploração subterrânea.....	450
11.4. Definição do âmbito de acção do projecto	452
11.5. Caracterização do ambiente subterrâneo.....	452
11.6. Predição do impacte ambiental	462
11.7. Medidas de prevenção e correcção para o impacte ambiental	476
11.8. Programa de monitorização e controle.....	480
11.9. Informe final	481
CAPÍTULO 12: SISTEMAS DE GESTÃO PARA O AMBIENTE SUBTERRÂNEO	483
12.2. Sistema de gestão ambiental (EMS) /ISO 14001	483
12.3. Sistema de gestão do ambiente, saúde e segurança ocupacional EHSMS	500
QUINTA PARTE: ASPECTOS FINAIS	
5.1. Conclusões	515
5.2. Referências bibliográficas	518
5.3. Anexos	531

RESUMO

O presente livro aborda a engenharia ambiental subterrânea enquadrada no conceito do ambiente subterrâneo como sistema dinâmico de interacção mútua e integral de quatro importantes domínios: atmosfera subterrânea, água subterrânea, rocha e componente biológico (homem); a os quais associa a tecnologia, a economia e sistemas de gestão ambiental subterrânea, dividindo-se em cinco partes.

A primeira apresenta uma revisão sobre a crescente importância da engenharia ambiental e a situação actual da sua especialização no âmbito subterrâneo. A segunda parte aborda a metodologia para a identificação das fontes e impactes ambientais negativos, para a caracterização da interrelação dos parâmetros ambientais e expressando-os em modelos matemáticos, para a identificação do nível de impacte ambiental baseado na medição ou predição, na procura de medidas de prevenção e correcção, aplicando-as da melhores alternativas e ainda, para a sua monitorização e controlo. Também, trata importantes aspectos do custo da protecção ambiental subterrânea. A terceira parte promove a aplicação dos conhecimentos acima referidos a duas minas portuguesas e uma mina peruana, visando validar a sua eficácia e fiabilidade. A quarta parte aborda a aplicação desta metodologia a projectos novos e aos sistemas de gestão ambiental (EMS) e sistemas de gestão do ambiente, saúde e segurança (EHS).

Finalmente, a quinta parte, apresenta as principais conclusões do livro realizado e sugestões para futuras investigações.

ABSTRACT

The present book concerns underground environment engineering based on the concept of a dynamic system of mutual and integral interaction of four important environmental domains: underground atmosphere, groundwater, rock and the biological component (man), to which including the technology, economy and underground environmental management systems, are associated, and it is divided in five parts.

The first one contains a revision on the increasing importance of environment engineering and the current situation of its underground specialization. The second part describes the methodology for the identification of the sources of negative environmental impacts, for characterizing the interrelation of ambient parameters and expressing them in mathematical models, for the identification of impact magnitudes based on measurements or predictions, for the search of prevention and remedial actions, applied for the search of the best alternatives and for its monitoring and control. Also, this part deals with costs of the underground environmental protection. The third part assesses the application of that knowledge in two Portuguese mines and one Peruvian mine, aiming to validate its effectiveness and reliability. The fourth part of the thesis includes applications to new projects and to environmental management systems (EMS) and environmental, health and safety system (EHS).

Finally, the fifth part presents the main conclusions of the book, with suggestions for further research.

AGRADECIMENTOS

Para a realização deste trabalho foi determinante a participação e envolvimento de várias pessoas e instituições, sem o que ele não teria sido possível, às quais devemos expressar os nossos mais sinceros agradecimentos.

À Fundação para a Ciência e a Tecnologia, do Ministério da Ciência e do Ensino Superior de Portugal.

Ao Professor Carlos López Jimeno, da Universidad Politécnica de Madrid, aos colegas da Secção de Exploração de Minas do IST e ao colega Heitor Simões Santos.

Ao editor Roberto C. Villas Bôas, assim como às Administrações do CYTED, e CNPq/MCT, Brasil, pelas anuências na publicação deste livro.

À mina da Panasqueira, nas pessoas dos Engenheiros Ramachondra Naique, Edmundo Nobre, Luís Lopes e demais funcionários.

À mina de Neves Corvo, nas pessoas dos Engenheiros António Correia de Sá e José Lobato.

À mina de San Rafael, nas pessoas dos Engenheiros Fausto Zavaleta, Luís Alva e os engenheiros que laboram no couro mineiro.

Os autores

PRIMEIRA PARTE

O AMBIENTE E A INDÚSTRIA EXTRACTIVA

Capítulo 1

A CRESCENTE IMPORTÂNCIA DA ENGENHARIA AMBIENTAL

1.1. Introdução

Nos últimos vinte anos e cada vez com maior intensidade, existe uma justificada preocupação sobre o antagonismo economia-ecologia e sobre a qualidade ambiental na Terra. Esta preocupação está permitindo desenvolver políticas que conduzem a uma sociedade industrializada ecologicamente sustentável.

Dentro dos factores ambientais susceptíveis de serem modificados pelo homem com mudanças que possam ocasionar problemas, que pela sua magnitude são difíceis de avaliar a médio e longo prazo, podem citar-se o próprio homem, a flora, a fauna, o solo, a água, o ar, o clima, a paisagem e os bens do património cultural.

Muitas actividades industriais, como a mineração e algumas obras públicas, desenvolvem trabalhos no ambiente subterrâneo, cuja duração pode variar de alguns dias a dezenas de anos. Este tipo de ambiente é afectado por muitos factores susceptíveis de modificações que podem ocasionar danos ao homem, como são a ocorrência de gases, poeiras, temperatura, ruído, desprendimento de rochas, incêndios, radiação, inundação, etc.

Portanto, as experiências, procedimentos, políticas, gestões, normas, avaliação de impactes ambientais e outros importantes avanços da ecologia, são também definitivamente importantes para o ambiente subterrâneo, pelo que, neste capítulo, se desenvolve uma abordagem integrada sobre este tema, de crescente significado contemporâneo.

1.2. Conceitos ecológicos

A ecologia é uma ciência relativamente jovem, iniciada com as expedições dos séculos XVIII e XIX, que vieram a constituir as bases dos estudos de equilíbrio que parecia manter as plantas e os animais a distribuírem-se conjuntamente e de formas determinadas no ambiente geográfico.

Na segunda metade do século XIX, Haeckel (1868) definiu a *ecologia* como a ciência das relações que mantêm os organismos vivos, entre si e a sua envolvente físico-química.

Revalle, P.(1984) indica que a palavra *ecologia* provem dos vocábulos gregos *oikos* que significa casa ou morada e *logos* estudo ou tratado. Assim genericamente, a ecologia estuda os organismos vivos e a sua distribuição no meio ambiente.

Conesa Fernandez, V. (1997) define a *ecologia* como o estudo dos animais e plantas em relação com seu habitat e costumes, fazendo referência a Colinvaux (1980).

A ecologia é, assim, uma ciência integradora e multidisciplinar, que precisa processar uma grande quantidade de dados para interpretar, relacionar e conhecer, utilizando como ferramentas instrumentais e de apoio, outras ciências tais como a:

Química, Física, Fisiologia, Botânica, Zoologia, Demografia, Matemática, Genética, Sociologia, Sistemática, Geoclimatologia, Geografia, Geologia, etc.

1.2.1. Introdução à perspectiva ecológica

O papel multidisciplinar da engenharia ambiental de hoje exige um maior conhecimento do funcionamento dos seres vivos e da interacção com o seu ecossistema.

Então, o que é o ambiente?

O ambiente global, entendido como o ambiente da Terra, é uma entidade que envolve muitos aspectos, como os constantes na fig. 1.1.

As componentes do sistema ambiental global (biológico e não biológico) trazem à comunidade um conjunto de serviços indispensáveis e insubstituíveis que mantêm o equilíbrio do ecossistema na Terra, como são os alimentos, os medicamentos, os combustíveis, os materiais de vestir, os materiais de construção, etc. Os sistemas vivos também proporcionam serviços funcionais, como a conservação de uma mistura adequada de gases, geração e protecção de solos, transformação de resíduos, restauração de sistemas depois das alterações, etc. Assim, não só a humanidade é totalmente dependente do meio natural, mas também a totalidade do planeta depende da conservação do meio natural e da interacção entre os organismos vivos e os componentes físico-químicos da Terra (Erlich, P.R., 1991).

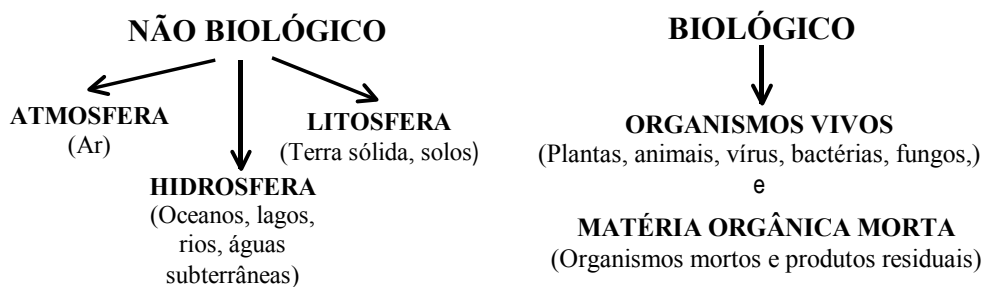


Figura 1.1 – Componentes e sub componentes do meio natural (Kiely, G., 1999)

1.2.2. Níveis de organização biológica no ambiente

Um dos maiores axiomas no ambiente global é que tudo está ligado com tudo, de tal modo que as mudanças num componente podem afectar muitos outros, tanto no espaço como no tempo.

No nível mais elementar, as células são as unidades básicas estruturais e funcionais da vida, constituindo os organismos que são os processadores activos da matéria e energia. Os níveis principais de organização ecológica podem-se resumir a cinco (Kiely, G., 1999):

a) *Indivíduos*: possuem funções fisiológicas e respondem às condições de um ambiente determinado. Pertencem a uma espécie que compreende todos os indivíduos que potencialmente são capazes de se reproduzir.

b) *Espécie*: grupos de indivíduos caracterizados por sua raça e seu parentesco, portanto possuindo genes comuns e/ou hereditários. As espécies não se distribuem ao acaso dentro do ecossistema, mas dependem das interações com outras espécies e das condições físicas e químicas de seu habitat. Cada espécie tem um nicho particular, definido por factores físicos (humidade, temperatura, etc.), biológicos (tipo de nutrientes e quantidade de predadores que actuam sobre ela) e etológicos (ciclos estacionais e temporários, organização, etc.).

c) *População*: são os membros de uma espécie que vivem em conjunto numa determinada localidade e ao mesmo tempo. Populações da mesma espécie podem diferir em tamanho, ritmo de reprodução, de morte e, portanto, do crescimento. As populações funcionam como sistemas autónomos, regulando sua densidade por suas próprias características e as de seu ambiente, mas pela complexidade e variedade de nichos, a regulação deve-se a mais de um factor.

d) *Comunidade*: inclui os organismos vivos, ou seja, plantas e animais (incluído microrganismos), que interagem mutuamente num ambiente particular que compreende as populações e as suas respectivas espécies. As comunidades são submetidas a três mecanismos dentro do ecossistema: *selecção* (sobrevivem os indivíduos melhor adaptados às condições do meio), *evolução* (processo de mudanças acumuladas e adaptação das sucessivas gerações dos organismos a partir dum antecessor comum) e *competição* (que consiste na luta por um recurso). Estes três mecanismos propiciam a sucessão de umas comunidades por outras.

e) *Ecossistema*: Refere-se ao sistema dos organismos vivos ou biológicos e os componentes ambientais não biológicos, de tal modo que o processo ecológico passa a constituir o *ecossistema* (fig. 1.2).

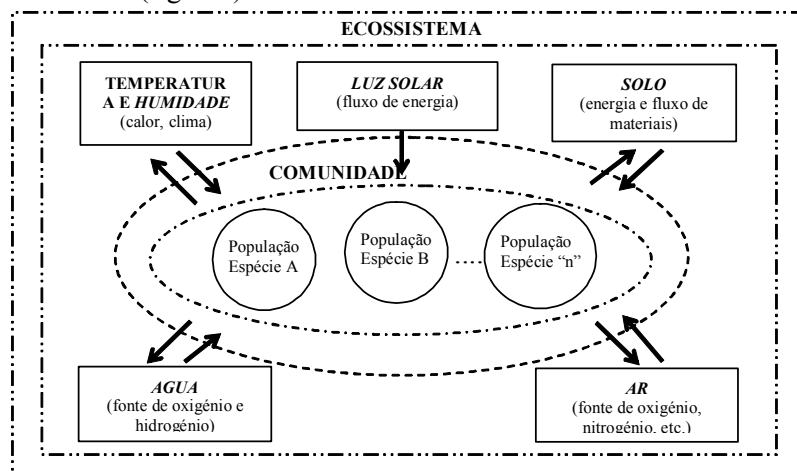


Figura 1.2 – Esquema do ecossistema (modificado de Revelle, P., 1984)

No ecossistema global o *Sol* constitui a fonte de luz, de calor e de energia, que dá vida no planeta Terra. O seu calor emitido mantém uma temperatura adequada para os

seres vivos e para isso, contribui a camada de ozônio que filtra os raios ultravioletas prejudiciais à vida.

Sem o Sol não haveria a evaporação das águas, que é fundamental para o *ciclo da água*, nem o processo de fotossíntese que possibilita que as plantas retirem gás carbônico do ar com os que produzem o *oxigênio*.

Os animais, durante a respiração, retêm oxigênio e expelem dióxido de carbono que as plantas utilizam durante a *fotossíntese*, reiniciando o processo.

A *fotossíntese* é um processo químico através do qual os vegetais, certas bactérias e algas azuis produzem a sua própria matéria orgânica, a partir de energia luminosa e de substâncias simples (água e o dióxido de carbono), libertando no processo oxigênio para o meio.

O *nitrogênio ou azoto* é outro dos componentes essenciais à vida por causa dos aminoácidos, proteínas (DNA e RNA), e forma parte da atmosfera em cerca de 80%. Os animais e as plantas absorvem nitrogênio sob as formas de amônia ou de nitrato.

As bactérias transformam a amônia em nitritos e em seguida em *nitratos*, que são usados pelas plantas como *proteínas*.

Os animais herbívoros ao comerem as plantas acabam absorvendo nitrogênio. Os animais *carnívoros* que comem os herbívoros e outros carnívoros também acabam absorvendo nitrogênio. Essa sequência em que alguns animais comem outros é chamada *cadeia alimentar* (fig. 1.3 direita), que se inicia com o processo de *fotossíntese* das plantas e raramente excede quatro ou cinco níveis ou grupos de seres vivos.

Quando os animais e plantas morrem, certas bactérias e fungos convertem seus compostos de nitrogênio em *gás nitrogênio*, reiniciando o ciclo do azoto.

O *ciclo da água* é outro dos ciclos básicos para a vida na Terra, que tem seu início com a evaporação das *águas* dos oceanos, lagos e rios, formando *nuvens* e retornando à Terra em forma de *chuva e neve*.

Nas áreas com vegetação, o solo retém água que é usada pelas plantas e a restante acaba indo para os *rios e lagos*.

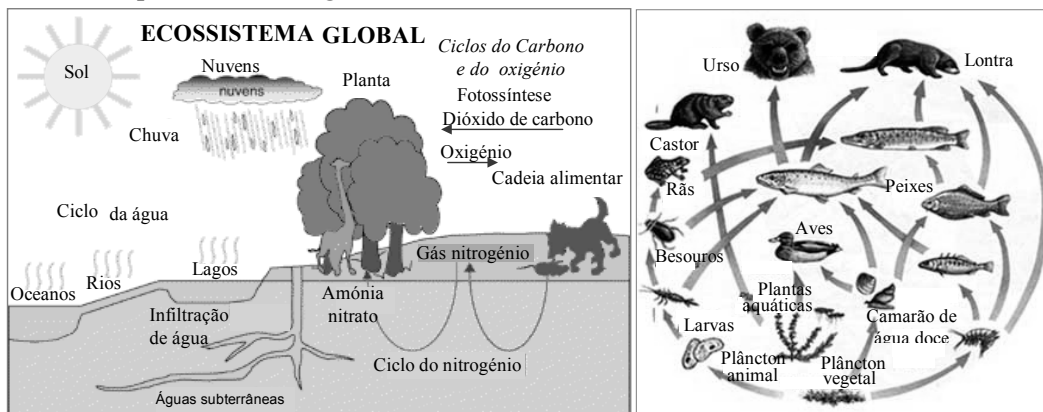


Figura 1.3 – Ecossistema global e a cadeia alimentar (www.uol.com.br)

A água não utilizada pelas plantas passa através de solos e infiltra-se até as grandes reservas subterrâneas, formando os chamados *aquíferos*, que fluem em direcção aos *oceanos*.

Como se pode observar, o ecossistema global é formado por ciclos e processos interdependentes e de forma sincronizada e equilibrada. O ser humano, ao longo do tempo, vem criando produtos e processos que interferem directa ou indirectamente nesse equilíbrio.

f) *Biomassa*: é um nível mais alto de organização, como o bosque tropical que ocorre nas zonas de alta temperatura e intensa pluviosidade.

g) *Biosfera*: é o maior nível de organização, que é parte da Terra e da atmosfera na qual existe a vida. Inclui a crosta superficial, os oceanos e os sedimentos no fundo das massas de água e parte da atmosfera ocupada pela vida. A este nível ecológico produzem-se ciclos biogeo-químicos de grande dimensão com participação de elementos naturais e poluentes. Um dos objectivos do estudo ecológico é entender como funcionará a biosfera (como se forma um grande ecossistema) no futuro e como solucionar os problemas já causados.

Os factores *não biológicos do ecossistema* influenciam em número e género os organismos existentes.

A luz natural do Sol é um dos principais factores, porque as plantas de cor verde ao usarem a energia solar produzem o processo de fotossíntese, gerando material orgânico e quase todas as criaturas vivas dependem deste organismo para seu alimento.

A água é o composto que precisam na Terra todas as formas de vida, a qual é parte do processo precipitação/evaporação. É o maior solvente da natureza, pelo que a dissolução dos poluentes afecta o ambiente, como a chuva ácida que se forma quando o óxido sulfuroso produzido pela combustão dos combustíveis fósseis se dissolve na chuva, reduzindo o desenvolvimento das florestas e causando a contaminação das águas.

A temperatura tem um profundo efeito no desenvolvimento dos organismos, incluindo a reacção bioquímica que é necessária para a vida e depende da temperatura. As mudanças de temperatura pela acção do homem no ambiente poderiam produzir efeitos negativos ou devastadores no ecossistema.

O oxigénio é um elemento não biológico muito importante, pois tanto plantas como animais o usam para obter energia que permita o seu desenvolvimento e metabolismo. Na Terra, o oxigénio é variável em função da altitude e seu abastecimento poderá variar, dependendo das plantas existentes. As águas naturais contêm oxigénio, que é um meio vital para os animais e plantas, podendo ocorrer a sua contaminação pela acção do homem.

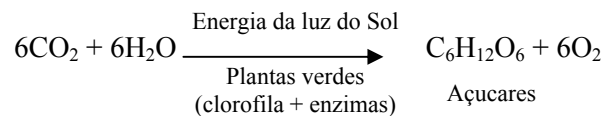
O solo é também importante por servir de suporte para o desenvolvimento dos seres vivos, principalmente através das pastagens e florestas.

1.2.3. Processos ecológicos no ecossistema

Entre os componentes biológicos e não biológicos, interagem dois processos, que são o fluxo de energia e a decomposição/reciclagem de nutrientes.

A vida sobre a Terra é promovida através do trabalho realizado nas trocas entre energia não aleatória (luz), e a energia aleatória (calor). Nos ecossistemas uma parte da energia da radiação solar transforma-se em energia química, que é a base energética dos sistemas vivos. Nestes organismos a energia deposita-se através da matéria orgânica viva ou morta, composta basicamente por carbono. Parte da matéria orgânica transforma-se em complexo químico adenosín trifosfato, denominado ATP, que se rompe durante o metabolismo para libertar a energia química armazenada e permitir a realização do trabalho, como a locomoção, reacções bioquímicas, etc.

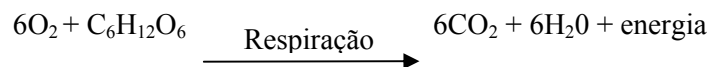
A produção de matéria orgânica rica em *energia* realiza-se dentro do ecossistema, quase na sua totalidade, por meio das plantas verdes em presença de luz solar por via da *fotossíntese*, gerando o seu próprio alimento mediante reacções químicas complexas impulsionadas pela radiação solar e utilizando pigmentos vegetais denominados clorofila. O processo da reacção química pode-se expressar por:



Na fotossíntese, liberta-se inicialmente o *oxigénio* criando uma atmosfera onde sobrevivem os organismos que precisam deste elemento e depois, mediante a transformação de complexos de ozono, bloqueia-se a penetração dos raios ultravioleta, tornando possível a existência da vida sobre a Terra.

As plantas verdes usam 1 a 5% do total da radiação solar para a transformação em material orgânico, combinando o dióxido de carbono com a água. O material orgânico formado inclui uma variedade de açúcares, armazenada em forma de amido que em combinação com outras moléculas de açúcar formam hidratos de carbono como a celulose (células e tecidos das plantas). As plantas precisam substâncias inorgânicas (azoto, fósforo, magnésio e ferro) que reagem com a glucose e passam a formar gorduras, proteínas e ácidos nucleicos.

Tanto animais como plantas verdes necessitam de energia para o seu crescimento e outros processos metabólicos. Esta energia é obtida através da série de reacções bioquímicas denominadas *respiração*. Nesta série de reacções, os materiais orgânicos como os açúcares e glicoses são decompostos através dos catalisadores (enzimas). Sendo energia libertada usada para gerar outras reacções na célula. A reacção se exprime na seguinte equação:



1.2.4. O homem como parte do ecossistema

O ambiente é um sistema dinâmico, extremamente complexo e de múltiplos componentes que transcende grandes espaços. Para além do espaço físico que o compõe nele estão incluído os quatro importantes domínios: litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera (fig. 1.4).

O ambiente envolve uma componente antropocêntrica, que trata das causas e efeitos provocados pelo homem, visando a satisfação das suas necessidades e a consecução das suas mais nobres aspirações. O estado do ambiente depende das influências conjuntas da atmosfera, clima, processos químicos, terrenos e cobertura vegetal, fauna e seres humanos (Dinis da Gama, C., 2000).

O homem é o componente biológico mais importante dentro do ecossistema e quem ademais das naturais relações com as plantas, animais e com os componentes físico-químicos, gera ações relacionais inteligíveis (voluntárias e involuntárias) que podem alterar o ecossistema e comprometer a sobrevivência e fecundidade do elemento biológico, incluído o *mesmo homem*.

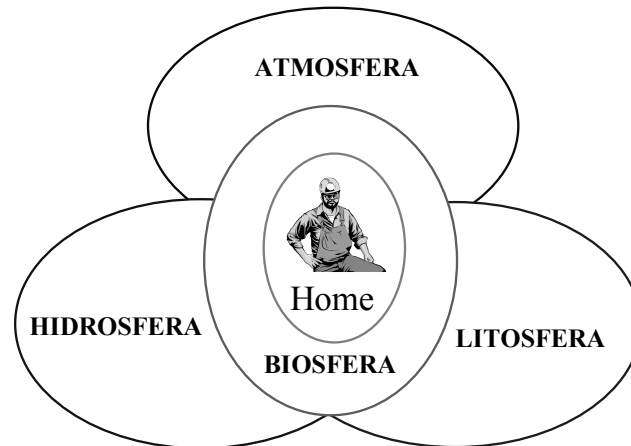


Figura 1.4 – Os principais constituintes do ambiente na Terra (Dinis da Gama, C., 2000)

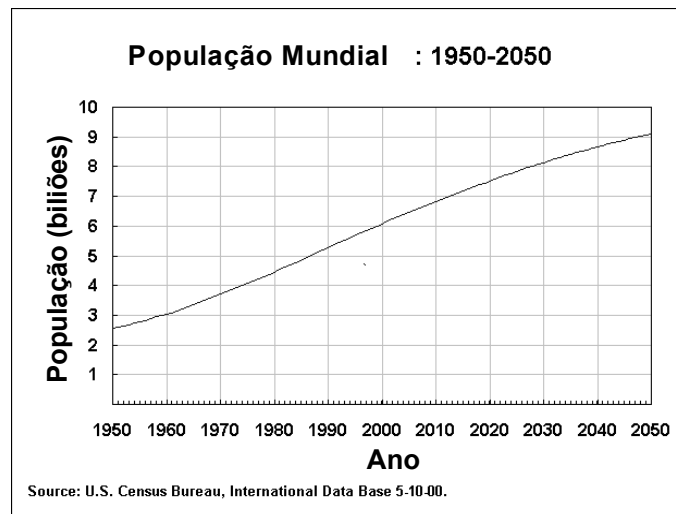


Figura 1.5 – Evolução da população mundial (www.census.gov/ipc/www/world.html)

O desequilíbrio ambiental provocado pelo homem e pelo seu crescimento quantitativo (fig. 1.5) gera problemas decorrentes e consequências (fig. 1.6) e, em geral, tem duas causas principais:

a) Tendência que o homem sempre sentiu para a mecanização, como nenhum outro ser vivo, conseguindo transformar as matérias-primas de que dispõe, de forma a torná-las úteis para si, seja como ferramentas ou máquinas, ou com objectivo de lazer ou arte. Durante a confecção de todos estes materiais formam-se quantidades apreciáveis de resíduos inúteis, que com o tempo acabam por comprometer o ambiente. Além disso, há consumos de energia provenientes de outras fontes e cuja produção também está associada à poluição do ambiente. Portanto, todo o processo de *industrialização* constitui um dos principais responsáveis pela poluição ambiental.



Figura 1.6 – Esquema das causas, problemas decorrentes e consequências do desequilíbrio ambiental provocado pelo homem (www.geocities.com)

b) A segunda causa da poluição ambiental reside no contínuo aumento da população (fig. 1.5), que, entre outros, implica uma crescente produção de alimentos com o conseqüente uso intensivo de fertilizantes e pesticidas, que poluem o ambiente. O aumento da população, assim como a melhoria das condições de vida, estão também na origem dum aumento do efeito poluidor dos esgotos urbanos. Estes contêm, além de detritos orgânicos, restos de alimentos, sabões e detergentes, incluindo portanto hidratos de carbono, gorduras, material proteico, detergentes, fosfatos e bactérias.

1.3. Evolução da Temática Ambiental

1.3.1. O ambiente no passado

O resumo da *grande* preocupação do homem sobre o ambiente é referido por Soler, M.A., (1997) e Lamprecht, J.L., (1997) que fazem uma análise histórica do ambiente nos termos a seguir:

No século terceiro antes de Cristo, Erastótenes descreveu o grave problema da erosão que afectava à ilha de Chipre a causa da desarborização para construção de navios, da fundição de cobre e da extracção da prata. Platão, Estrabão e Aristóteles reconheceram a gradual diminuição de peixes por efeito da erosão e sedimentação fluvial gerada por esse fenómeno.

O historiador Clive Ponting relata que no ano 312 antes de Cristo, o rio Tíbre estava tão contaminado que os romanos buscaram outra fonte de água potável. De igual modo refere que a desflorestação total na ilha de Páscoa levou ao colapso da cultura existente nessa ilha.

No ano de 1556, Georguis Agrícola na sua obra *De Res Metallica*, dá referência sobre o efeito negativo causado pela actividade mineira aos animais e ao ambiente, situação já conhecida pelos filósofos gregos.

Entre 1707 a 1788 Georges Louis Leclerc, conhecido como Conde Bufon, elaborou um amplo tratado relacionado com profundos efeitos provocados na natureza pela acção do homem, com a domesticação e selecção artificial de plantas e animais.

Posterior ao século XVII surgem ao nível dos estados-nações, iniciativas de controlo regulamentar das actividades do homem que atentavam à natureza, como foi o caso de França, com a *Ordenança Florestal* de Colbert. Nesta altura os cientistas começaram a definir e documentar-se sobre a relação entre a contaminação industrial e certas doenças.

Nos anos 1682-1717 Bernardino Ramazzini, professor da Universidade de Modena e Pádua, identifica a *doença do ceramista* influenciado por chumbo. Também conseguiu associar as lesões nos pulmões e na boca dos artesãos de vidro com a utilização de bórax e antimónio.

No século XIX, já no período industrial moderno, alguns governos fizeram leis para proteger a sociedade por acção da contaminação industrial. Em 1821 o parlamento britânico fez uma lei para evitar excessiva emissão de partículas pelos fornos das fundições e em 1863 promulga uma norma, onde exigia aos fabricantes de produtos alcalinos que eram usados na fabricação de sabão, vidro e tecidos, a eliminação de 95% do ácido clorídrico e para seu cumprimento cria pela primeira vez uma instituição de controlo denominada *Alkali Inspectorate*.

Nos anos 1842 a 1860 iniciam-se os intentos de controlo de resíduos de cidades com projectos de esgotos como Hamburgo, Chicago e Berlim.

Em 1840-1866 o alemão Ernst Heinrich Haeckel, pela primeira vez, utiliza o termo ecologia.

Entre 1859 a 1872, observa-se um aumento da literatura científica relacionada com os efeitos negativos da revolução industrial, sendo um dos primeiros exemplos documentados sobre a contaminação do ar e chuva ácida, a obra de Robert Smith denominada *Ácido e Chuva*.

Entre 1838 e 1914 o norte-americano Jhon Muir contribui com a criação da primeira reserva natural do mundo na Califórnia.

Em 1949 Inglaterra promulga um decreto de Parques Nacionais e de acesso a campinas.

No período 1890-1950 nos E.U.A. realizaram-se estudos ocasionais de contaminação de água e do ar, salientando o tratado de Aguas Limítrofes com Canadá.

Entre 1929-1933 na Europa *Water Pollution Research Board* investigou sobre a descarga de material orgânico no rio Teeside de Inglaterra, concluindo que gerava um declínio na população de aves migratórias e salmão.

Já em 1955, de 16 a 20 de Junho, celebrou-se uma conferência titulada “O papel do homem nos câmbios da face da Terra” em Princeton Nova Jersey; mas abordaram-se muito pouco sobre contaminação industrial.

Em 1962 Barry Commover dos E.U.A. resume as suas conhecidas leis básicas da ecologia em quatro enunciados seguintes: 1) Todas as coisas estão relacionadas com as demais; 2) Todas as coisas vão a parar algum lugar; 3) A natureza é sabia; 4) Não há nada que seja gratuito.

Em 2 de Dezembro de 1970 criou-se a Agência de Protecção Ambiental dos E.U.A. (EPA). Esta agência e outras analisam os efeitos nocivos do chumbo em água potável, as substâncias poluentes no ar, os produtos químicos tóxicos que a indústria verte no ambiente e os pesticidas que se infiltram nos aquíferos e muitos outros temas.

Em 1974 na Califórnia, estabeleceram-se organismos governamentais como *Southern California Air Management District* para tarefas de controlo dos índices de contaminação do ar, solo e água.

Em 1986, 10 anos antes da elaboração da norma ISO 14001 e 6 anos antes de no Reino Unido ser publicada a norma BS 7750 sobre gestão ambiental, a administração de Califórnia introduz um método de Certificação de Auditores Ambientais REAs (*Registered Environmental Assessors*) (capítulo 1507, estatutos de 1986) no Decreto de Avaliação da Qualidade.

1.3.2. Consciência global do ambiente

Dezassete anos depois de realizada a conferência internacional em *Princeton* (Nova Jersey), celebra-se a conferência internacional de *Estocolmo* (1972), onde se trata amplamente do ambiente, enfatizando o referente ao seu uso, degradação, conservação e preservação, promovendo uma consciência sobre o desenvolvimento equilibrado.

O acontecimento histórico seguinte no debate ambiental de escala global foi em 1987 quando aparece o famoso relatório Brundtland, fruto do trabalho realizado entre 1984 e 1987 pela *Comissão Mundial para o Ambiente e o Desenvolvimento*, onde se identifica a ameaça relacionada com a camada de ozono, a mudança climática, a

acidificação do meio, a erosão dos solos, etc., delineando a necessidade de conciliar o desenvolvimento e a natureza.

O relatório propõe a *sustentabilidade do desenvolvimento* para as gerações futuras. Este documento serviu de base para as negociações duma convenção sobre o ambiente e para a convocatória da Conferencia do Rio de Janeiro ECO/92.

Em ECO/92 acentua-se a visão antropocêntrica, salientando-se os aspectos socioculturais e económicos de temas como a camada de ozono, biodiversidade, efeito estufa, recursos naturais, etc. Nesta conferência assinaram-se três acordos principais: A Declaração do Rio, a Agenda 21 e a Convenção sobre a Biodiversidade. Estes acordos reforçaram o homem como centro de preocupações, a responsabilidade nacional sobre os recursos naturais e o desenvolvimento de linhas de cooperação futura. Dos três acordos, a *Agenda 21* foi o principal, pelo facto de abordar temas de dimensão social e económica, do *desenvolvimento sustentável*, a cooperação internacional, a pobreza, a mudança nos padrões de consumo, etc.

Pode-se afirmar que nos últimos 28 anos foram estabelecidos acordos internacionais sobre a necessidade de introduzir mudanças nas políticas económicas dos países, nas áreas da conservação do desenvolvimento sustentável. Os acontecimentos mais importantes estão resumidos na Tabela 1.1.

Mais recentemente, quase todos os países promulgaram leis nacionais de protecção ambiental para abordar este tema de forma séria e formal, mas existe ainda o problema da sua aplicação objectiva e real.

Finalizando a década do 70, a EPA estava consciente da impossibilidade de controlar a indústria no caso de não contar com capacidade de *sanção* e também de *investigação*. Durante a década de 90, a EPA, a SEC (*Securities and Exchange Commission*), a OSHA (*Occupational Safety and Helath Administration*) e a IRS (*International Revenue Service*), fizeram comuns os recursos da administração para identificar e sancionar às empresas que não cumprissem as leis consideradas críticas. As duas décadas duma política de *ordem e mando* ocasionaram certo ressentimento na maioria dos sectores industriais e empresários, pelo que a EPA desde 1989 deixou este conceito, acolhendo ao novo conceitode *redução na fonte de contaminação*, mediante programas de prevenção.

Tabela 1.1 – Acontecimentos mais importantes relacionados com a consciência global do ambiente

Ano	Acontecimentos
1955	Primeira Conferencia Internacional sobre “O papel do homem em mudar a face da Terra” Princeton, Nova Jersey.
1972	Celebra-se em Estocolmo a primeira Conferencia Internacional sobre o Ambiente, patrocinado pela ONU.
1972	O Clube de Roma apresenta seu controvertido relatório com aspectos apocalípticos, titulado: Os limites do crescimento (<i>The Limites of Growth</i>)
1980	O Relatório Mundial 2000, publica-se no mandato do presidente Cárter. O relatório teve boa aceitação no meio internacional.
1987	O protocolo de Ozono de Montreal aborda a questão da camada de ozono.
1987	A Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento, presidida pelo Primeiro-ministro de Noruega., Gro Harlem Brundtland, publica “Nosso futuro comum” onde dá conhecer o termo <i>desenvolvimento sustentável (DS)</i> .

Tabela 1.1 – Acontecimentos mais importantes relacionados com a consciência global do ambiente

Ano	Acontecimentos
1989	Holanda publica o primeiro Plano Nacional de Política Ambiental (NEPP) conhecido como o Plano Verde. Seguem o Canadá e Nova Zelândia num prazo inferior a dois anos.
1992	Celebra-se a Conferência de Meio Ambiente e Desenvolvimento, patrocinado pela ONU conhecida como a Cimeira do Rio. O plano Agenda 21 proclama o DS.
1992	O Conselho Empresarial para o DS e Stephan Schmidheing publicam Mudando o Rumo: uma perspectiva de âmbito mundial para o desenvolvimento e o meio ambiente (Changing course: a Global Business Perspective on Development and the Environment)
1996	Publica-se a norma ISO 14001 para a gestão ambiental.
1997	Foi aprovado o Protocolo de Quioto, estabelecendo como meta, reduzir as emissões de gases poluentes dos países industrializados em 5.2%, sobre os níveis existentes em 1990, até 2012.
2002	Os Estados-Membros da União Europeia aprovam reduzir, em conjunto, as suas emissões de gases com efeito de estufa em 8%, entre 2008 e 2012
2002	Celebra-se a Conferência sobre DS em Joanesburgo, resultando dois documentos: um sobre a declaração política, que expressa os compromissos dos países e os rumos para o DS; e outro sobre o plano de ação, que estabelece metas e ações de forma a guiar esta implementação.

Outra mudança, resultado da experiência da EPA e do Projecto denominado XL (Excelência e Liderança) é de que cada empresa desenvolverá seus próprios métodos para a melhoria do ambiente. Este projecto tem aspectos em comum com a norma internacional ISO 14001.

Baseado nas recomendações feitas no relatório Brundtland, muitos países trataram de conformar o “movimento verde” (E.U.A., Dinamarca, Alemanha, Holanda, Noruega, Suécia e Suíça) mediante a implantação do denominado *Plano Verde*. Em vez de leis isoladas que enfrentavam os problemas um por um, esses países unificaram esforços dos seus ministérios e agências para melhorar a qualidade do ambiente. Um bom exemplo é o Plano Nacional Holandês sobre a política do ambiente, que considera não ser possível realizar uma política nacional do ambiente sem a existência de uma política de âmbito mundial (NEPP1 e NEPP2).

Finalmente a norma da Organização Internacional de Normalização (ISO), com a recente aparição da família de normas para os sistemas de gestão ambiental conhecida como ISO 14001, tem a característica de ser uma norma de nível internacional.

De 1 a 10 de Dezembro de 1997, realizou-se em Quioto, Japão, a III Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas, sobre Mudança do Clima, com objectivo de lutar contra as alterações climáticas através de uma acção internacional de redução das emissões de determinados gases com efeito estufa, responsáveis pelo aquecimento global. O Protocolo de Quioto incide nas emissões de seis gases: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), protóxido de azoto (N₂O), hidrofluorcarbonetos (HFC), hidrocarbonetos perfluoretos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF₆). No protocolo (Anexo I) todas as partes comprometem-se a reduzir as suas emissões de gases com efeito de estufa em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 durante o período 2008-2012 (<http://www.riomaisdez.gov.br/documentos/1749-Protocolodekyoto.pdf>).

Na União Europeia toma-se a decisão 2002/358/CE do Conselho, relativa à aprovação do protocolo de Quioto da Convenção Quadro das Nações Unidas, sobre as alterações climáticas e ao cumprimento conjunto dos respectivos compromissos, no sentido de os Estados-Membros da União terem de reduzir, em conjunto, as suas emissões de gases com efeito de estufa em 8%, entre 2008 e 2012 (<http://europa.eu.int/scadplus/leg/>).

1.4. Desenvolvimento Sustentável

1.4.1. Conceitos sobre desenvolvimento sustentável

O conceito de *desenvolvimento sustentável* tem notória presença desde 1987, quando a Comissão de Comércio Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento publicou o trabalho *Our Common Future* (nosso futuro comum) conhecido como relatório Brundtland, cuja conclusão considera que o grande problema ambiental deve ser abordado com um desenvolvimento sustentável.

O documento *Cuidar a Terra – uma estratégia para viver de maneira sustentável*, publicado em 1991 pela UICN (União Internacional para a Conservação da Natureza), manifesta que a humanidade precisa viver cuidando os limites da capacidade de carga da Terra e afirma que existe um grande risco de degradação ambiental pelas ações de desenvolvimento que o próprio homem realiza, pelo que, se não beneficiarmos dos recursos da Terra de maneira sustentável e prudente, hipotecaremos o futuro das pessoas.

A WCED (Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento) define desenvolvimento sustentável, aquele desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras.

A conferência Cimeira do Rio de Janeiro realizada em 1992, no seu primeiro princípio, proclama que os seres humanos constituem o centro das preocupações relacionadas com o desenvolvimento sustentável. Todos eles têm direitos a uma vida saudável e produtiva em harmonia com a natureza. Indica, também, que o direito ao desenvolvimento deve ser de forma que responda equitativamente às necessidades ambientais e do desenvolvimento das gerações presentes e futuras.

1.4.2. Princípios do desenvolvimento sustentável e a agenda 21

Segundo Sands, P., (1995) o conceito de desenvolvimento sustentável pode-se identificar com o princípio da equidade nas gerações e princípios que estabelecem o uso equitativo e sustentável dos recursos naturais.

Brow, W.E., (1989) afirma que o princípio de desenvolvimento sustentável consiste na obrigação de conservar a diversidade natural e cultural dos recursos com o fim de não restringir as opções das gerações futuras.

A Comissão Mundial sobre o Ambiente e Desenvolvimento (WCED) indica que o princípio da vida sustentável está no estabelecimento da *ética* baseada no respeito e a consideração para todos e cada um de nós com a Terra. O desenvolvimento não pode conseguir-se comprometendo gerações futuras, nem deve constituir uma dificuldade para a sobrevivência de outras espécies.

Assim também, os princípios de uso equitativo e sustentável explicitam o objectivo da exploração dos recursos naturais de forma *prudente, racional e/ou apropriada*. Dentro de outra óptica, o princípio de desenvolvimento sustentável é reflectido no estabelecimento de padrões para o uso e a exploração dos recursos naturais. Trata-se portanto, de garantir uma utilização óptima dos recursos, sem comprometer a capacidade do planeta de gerar recursos renováveis e sem pôr em perigo o esgotamento dos recursos não renováveis.

A *Agenda 21*, documento da Conferência das Nações Unidas para o Ambiente e o Desenvolvimento, que data de 1992, define as acções a realizar na última década do século XX (que passou), e as primeiras do século XXI (que estamos iniciando), agrupadas nas quatro secções seguintes:

Secção I: define as acções de *cooperação internacional*, de integração dos processos de decisão, das exigências ambientais no tema de desenvolvimento, de luta contra a *pobreza* e de protecção da *saúde*;

Secção II: define as acções necessárias para uma *protecção e uso sustentável* dos recursos naturais, considerando vários sectores: atmosfera, desflorestação, águas, gestão de resíduos, etc.;

Secção III: identifica os grupos de *actores implicados* e o papel que têm na implementação da Agenda: mulheres, crianças, jovens, povos, indígenas, ONGs, autoridades locais, membros da comunidade científica, etc.;

Secção IV: considera os meios para garantir a aplicação da Agenda 21, relacionados com os recursos e mecanismos financeiros, transferência de tecnologia, educação, participação pública, etc.

Na *Agenda 21* enuncia-se no sentido de que *a humanidade de hoje tem a capacidade de desenvolver-se de uma forma sustentável, sendo entretanto preciso garantir as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades* e acredita-se que isso será possível, com um desenvolvimento sustentável (DS), definido como o equilíbrio entre a tecnologia e o ambiente com a participação consciente dos grupos sociais na busca da equidade e justiça.

O DS tem seis aspectos prioritários entendidos como metas (Mendes, M.C., 2002, www.educar.sc.usp.br):

A satisfação das necessidades básicas da população (educação, alimentação, saúde, lazer, etc.);

A solidariedade para com as gerações futuras (preservar o ambiente de modo que elas tenham oportunidade de viver);

A participação da população envolvida (todos devem tomar consciência sobre a necessidade de conservar o ambiente e fazer cada um a parte que lhe corresponde para tal);

A preservação dos recursos naturais (água, oxigénio, solo, etc.);

A constituição de um sistema social garantindo emprego, segurança social e respeito a outras culturas (erradicação da miséria, do preconceito e do massacre de populações oprimidas, como por exemplo os índios);

A efectivação dos programas educativos.

Na tentativa de chegar ao DS a educação ambiental é parte vital e indispensável, pelo que é a maneira mais directa e funcional de se atingir pelo menos uma das suas metas que é a participação da população.

1.5. O Solo E Os Impactes Ambientais

Para o objectivo do presente livro, é indispensável tomar como base os conceitos e experiências da gestão ambiental desenvolvidos até o momento; portanto, a seguir apresenta-se uma breve revisão do tema, iniciando com o relacionado ao solo e depois relativamente aos problemas ambientais na atmosfera e água.

1.5.1. Condição e qualidade natural da litosfera

A parte superior do leito rochoso da Terra, em média, tem uma fracção sólida de 50% (45% de minerais e 5% de material orgânico) e espaço de poros de 50% (água e ar).

O movimento do ar e a humidade originam a lixiviação e o escoamento superficial, que constituem uma acção potencial para a poluição de águas superficiais e subterrâneas.

A textura do solo é uma *propriedade física* importante que é relacionada com a condutividade hidráulica e a capacidade da retenção de água. Assim, uma textura grossa permite *maior* condutividade hidráulica e *menor* capacidade de retenção da água. Outra propriedade do solo, também importante é a quantidade de poros (Kiely, G., 1999).

As *propriedades químicas* do solo são importantes, porque este contem nutrientes, e dos não disponíveis para as plantas não existe ameaça para a qualidade ambiental, enquanto que, os disponíveis são um potencial para a poluição. Por isso, a capacidade de troca de catiões e aniões é particularmente importante. As Tabelas 1.2. e 1.3. apresentam a composição elementar e mineralógica do solo natural.

As tabelas mostram que o maior predomínio elementar é do *oxigénio e sílica*, que em conjunto atingem *80% do total*, e que ocorrem formando minerais com predomínio da combinação Si – O. Os minerais principais são o quartzo, mica, anfíbola, piroxena e olivina, que têm origem na rocha mãe.

Tabela 1.2 – Componentes elementares mais importantes do solo e crosta terrestre (Adaptado de Kiely, G., 1999 e de Sposito, 1989)

Elemento	Solo (mg/kg)	Crosta (mg/kg)	Elemento	Solo (mg/kg)	Crosta (mg/kg)
O	490000	474000	K/Na	15000	23000
Si	310000	277000	Na/K	12000	21000
Al	72000	82000	Mg/Ti	9000	5600
Fe	26000	41000	Ti/P	2900	1000
C/Ca	25000	41000	S/Mn	1600	950
Ca/Mg	24000	23000	F/C	950	480

Tabela 1.3 – Componentes mineralógicos mais importantes do solo (Adaptado por Kiely 1999, de Sposito 1989)

Nome	Fórmula química	Nome	Formula química
Quartzo	SiO ₂	Feldespato	(NaK)AlO ₂ (SiO ₂) ₃
Mica	K ₂ Al ₂ (Si ₂ O ₅) ₃ Al ₄ (OH) ₄	Piroxena	(Ca,Mg,Fe,Ti,AlSi,Al)O ₃
Anfíbola	((Si, Al) ₄ =11) ₂	Epídoto	Ca ₂ (Al,Fe) ₃ (OH)Si ₃ O ₁₂
Olivina	(Mg, Fe) ₂ SiO ₄	Turmalina	NaMg ₃ Al ₆ B ₃ Si ₆ O ₂₇ (OH,F) ₄

O ar presente no solo tem uma composição similar ao ar atmosférico; mas pode variar em certas condições, como por exemplo o ar atmosférico tem uma concentração em O₂ de 209000 ppm e o ar do solo apenas pode estar próximo de 20000 ppm; o dióxido de carbono (CO₂) atmosférico é uns 300 ppm e no solo varia de 3000 a 30000 ppm. A água não é pura porque contem minerais dissolvidos, coloidais e suspensões.

Entre a fase sólida e a líquida do solo existe uma fase coloidal onde há troca de catiões/aniões. A fase coloidal possui geralmente carga negativa pelo que retém os catiões na lâmina de água, e esta retenção diminui a perda dos catiões (por exemplo Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺), que podem trocar com outros iões por processos naturais ou artificiais (rega, fertilização, etc.). Assim, uma solução de sulfato de amónio pode produzir uma extensão de sulfato cálcico, onde o catião dominante NH₄⁺ muda a Ca²⁺, facto que influencia no pH do solo. Segundo Sposito, 1989, a troca de Mg²⁺ por Ca²⁺ está representado por: CaCO₃(s) + Mg²⁺ (ac) = MgCO₃(s) + Ca²⁺ (ac). A salinidade determina-se pela condutividade eléctrica (solo salino > 4000 µS/cm), onde µS representa microsiemens.

1.5.2. Alterações e impacte ambiental

A nível geral o impacte ambiental produzido no solo associa-se aos seguintes aspectos: a) Destruição directa de solo; b) Poluição do solo; c) Alteração morfológica; d) Perda de recursos minerais e rochas industriais; e) Modificações devido à erosão e desertificação (fig. 1.7); f) Alterações da estabilidade de taludes; g) Subsidência; h) Alteração na sedimentação; i) Alteração na dinâmica de leitos e zonas de inundação; j) Sismicidade induzida e vibrações; k) Alterações na qualidade e impacte visual. Cada um de estes factores que ocasionam impactes ambientais merecem estudos específicos, como exemplo a seguir ilustra-se na Tabela 1.4 o relacionado como a *erosão do solo*.



Figura 1.7 – Erosão pela acção da mineração (esquerda) e desertificação eólica (direita)

A predição da média anual de perda de solo causada pela erosão laminar denominada USLE (*Universal Soil Loss Equation*), não adequada para a estimativa de eventos fluviométricos específicos (Mark, N., 1996) é dada por

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

onde, *A* é a perda de solo (t/ha.ano), *R* é o factor de erosividade da chuva, *K* é o *factor* de erodibilidade do solo, *L* é o *factor* de comprimento da rampa baseado nos seus valores, *S* é o *factor* de declividade baseado nos valores em percentagem, *C* é o *factor* de uso e manejo, e *P* é o *factor* de práticas conservacionistas.

Tabela 1.4 – Poluição e impacte ambiental de solo/terra (baseado em Conesa, V., 1997)

Poluentes	Fontes de poluição	Impacte sobre o meio	Medidas preventivas e correctivas
<p>-O clima: intensidade e frequência das precipitações e a sua distribuição na área definida. Intensidade e regime de ventos e temperatura.</p> <p>- O solo: tipos, textura e estrutura, litologia ou composição mineralógica.</p> <p>-Geomorfologia: forma e textura de releve, topografia de degraus.</p> <p>-Vegetação: configuração e classe de vegetação, qualidade e quantidade.</p> <p>-Outros: geologia, hidrologia, deslizamento, salinação, fogos, etc.</p>	<p>-Industria e actividades consomem energias fósseis que produzem um acréscimo do balanço energético da atmosfera por contaminação térmica.</p> <p>-Industria e actividades queimam gás natural, petróleo e bosques, aumentam o anidrido carbónico incorporando ao ciclo de carbono. O CO₂ ao ser emitido ao exterior encerra energia gerando aquecimento que modifica as precipitações provocando a aridez e erosão.</p> <p>-A mineração, ao destruir bosques e alterar a superfície mediante o movimento de terras provoca a erosão.</p> <p>-Pastoreio e agricultura em encostas.</p>	<p>-Erosão hídrica, expressada em: selecção de partículas do solo por erosão laminar, aumento da erosão nos canais, deslocamento de lama por a grande quantidade de água no solo, deslocamentos superficiais e de fundo por efeito da presença de planos lubrificados e água saturada.</p> <p>-Intensificação da erosão eólica, oclusão de passagens de águas, valetas e danos em superfícies de edifícios, e outros.</p> <p>-Desertificação de solos de zonas áridas e semiáridos.</p> <p>-Impacte visual.</p>	<p>-Ao planificar ou projectar, considerar níveis de tolerância, controlando assim:</p> <ul style="list-style-type: none"> .Tipo de coberto vegetal; .Percentagem de coberto herbáceo e o grau de consolidação; .Forma topográfica do cultivo. <p>-Métodos baseados na vegetação e tipo de cultivo.</p> <p>-Gestão adequada do gado, evitando o sobre pastoreio.</p> <p>-Métodos mecânicos como: técnicas de não cultivo com regos localizados, aparas de madeira, hidrosememnteira, etc.</p> <p>-Terraços em valetas, com colectores e talude relvado.</p> <p>Desvios para evacuação de água, etc.</p>

Grande parte do mundo sofre com a desertificação, com a deterioração dos solos, da vegetação e das águas (Tabela 1.5).

Tabela 1.5 – Áreas afectadas pela desertificação (UNEP, 1991, www.desert.org.br)

Áreas degradadas	Km ²	% do total de terras secas
Pela irrigação	430000	0.8
Pela agricultura de sequeiro	2160000	4.1
Pela pecuária (solos e vegetação)	7570000	14.6
Pelo homem (1+2+3)	10160000	19.5
Pelo pastoreio	25760000	50.0
Total de áreas degradadas (4+5)	35920000	69.0

As regiões áridas e de terras secas, ocupam mais de 37% de toda a superfície do planeta, abrigando mais de 1 bilhão de pessoas, ou seja, 1/6 da população mundial, cujos indicadores principais são os de baixo nível de renda, baixo padrão tecnológico, baixo nível de escolaridade e ingestão de proteínas abaixo dos níveis aceitáveis pela OMS (Organização Mundial da Saúde). Apesar de todas essas restrições, as terras áridas são responsáveis por mais de 22 % de toda produção mundial de alimentos e, no passado, formaram o berço dos grandes impérios e civilizações, como o Egito, a Pérsia, a China e a Índia.



Figura 1.8 – Impacte paisagístico devido a subsidência e processamento de minerais nas operações mineiras (www.folhadomeioambiente.com.br)

Já os dados da ISRIC (*International Soil Reference and Information Centre*), concluem que 19.5% das regiões áridas do mundo estariam sofrendo algum tipo de degradação.

Um problema ambiental relacionado ao solo é a subsidência provocada pela mineração subterrânea (fig. 1.8 esquerda) e degradação pelo processamento de produtos minerais (fig. 1.8 direito).

1.6. A Água e a Contaminação

A água é um dos elementos de maior importância para todas as formas de vida na Terra. Ela está presente em todos os organismos vivos, fazendo parte de uma infinidade de substâncias e órgãos. Além disso, transporta diversos compostos nutritivos dentro do

solo, ajuda a controlar a temperatura de nossa atmosfera e apresenta uma série de funções de extremo valor.

As principais fontes de contaminação das águas são ocasionadas por resíduos, sejam eles agrícolas (de natureza química ou orgânica), esgotos, resíduos industriais, lixo ou sedimentos vindos da erosão. A poluição das águas pode aparecer de vários modos, incluindo a poluição térmica, que é a descarga de efluentes a altas temperaturas, poluição física, que é a descarga de material em suspensão, poluição biológica, que é a descarga de bactérias patogênicas e vírus, e poluição química, que pode ocorrer por deficiência de oxigênio, toxidez e eutrofização .

A *eutrofização* é causada por processos de erosão e decomposição que fazem aumentar o conteúdo de nutrientes, aumentando a *produtividade biológica*, permitindo periódicas proliferações de algas, que tornam a água turva e com isso podem causar deficiência de oxigênio pelo seu apodrecimento, aumentando sua toxidez para os organismos que nela vivem (como os peixes, que aparecem mortos junto a espumas tóxicas).

Na natureza existem águas superficiais (rios, lagos, mares e oceanos) e subterrâneas, e mais de 97% da água doce disponível em nosso planeta para uso pelo homem é a subterrânea. Em muitas partes do planeta a água subterrânea é a principal fonte de abastecimento para o uso doméstico, agrícola e industrial. Mas de 1.5 bilhões de habitantes de áreas urbanas são abastecidos com água subterrânea.

1.6.1. Propriedades e qualidade natural

1.6.1.1. Propriedades físicas

São de dois tipos: *padronizadas* (peso molecular, densidade, ponto de fusão, ponto de ebulição, etc.), e as que apresentam *ampla variação* (Barnes, D., *et al.*, 1986) como são os que se descrevem a seguir:

Cor: produzido pelo mineral dissolvido ou ácido fúmico das plantas e mede-se em mg/litro de platino, que nas águas dos rios oscila entre 5 e 200 mg/litro.

Turbidez: é causada pela matéria em suspensão, mede-se em mg/litro de SiO₂, que nas águas do rio oscila de 2 a 200 mg/litro.

Cheiro: é inodora quando é limpa (destilada). O H₂S torna a água com um mau cheiro. Mede-se ao diluir uma amostra de água sem cheiro (valor 1) até detectar cheiro perceptível.

Sabor: faz variar a presença de microrganismos, algas ou sais, como Ca₂⁺, Mg₂⁺ e Cl⁻.

Temperatura: quando esta propriedade aumenta reduz a quantidade de oxigênio podendo apresentar estratificações em profundidade.

Sólidos presentes: são de origem orgânica e inorgânica. A quantidade, tamanho e tipo de sólidos são função do tipo de água. Os sólidos se determinam em função de: *sólidos totais* (ST) que é todo o resíduo que fica depois da evaporação a uma temperatura de 105 °C, *sólidos em suspensão* ou não filtráveis (SS) com tamanho de 10⁻³ a 1 mm, *sólidos totais dissolvidos* (STD) que é a diferença de ST-SS, com tamanhos de 10⁻³ a 10⁻⁹

mm, sólidos *totais voláteis* (STV) que são a fracção orgânica e inorgânica gasificada a 550 °C, sendo a restante não volátil ou *sólidos fixos em suspensão* e finalmente *sólidos coloidais* cujo tamanho é de 10^{-3} a 10^{-6} mm.

1.6.1.2. Propriedades químicas

a) *Propriedades químicas das substâncias inorgânicas das águas*, são relacionadas às propriedades específicas (Ca_2^+ e Mg_2^+) ou metais (Pb, Cu, Zn, Sn, Hg) e propriedades gerais (alcalinidade, dureza, condutividade eléctrica, acidez, etc.).

As *espécies* iónicas principais de algumas águas naturais, estão indicadas na Tabela 1.6 e as espécies iónicas secundárias são: Al^{3+} , NH_4^+ , As^+ , Ba^{2+} , BO_4^{3-} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , HSO_4^- , HSO_3^- , CO_3^{2-} , F^- , OH^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , HPO_4^{3-} , S^{2-} e SO_3^{2-} .

Tabela 1.6 – Espécies iónicas principais em águas naturais (baseado em Kiely, G., 1999)

Grupo iónico	Ião constituinte	Concentrações (mg/litro)			
		Água de chuva	Água de rio, prometido mundial	Água Subterrânea, Daeton Ohio	Água de mar
Catiões	Cálcio Ca^{2+}	0.09	1.5	92	400
	Magnésio Mg^{2+}	0.27	4.1	34	1350
	Sódio Na^+	1.98	6.3	8.2	10500
	Potássio K^+	0.30	2.3	1.4	380
Aniões	Bicarbonato HCO_3^-	0.12	58.4	339	142
	Sulfato SO_4^{2-}	0.58	11.2	84	2700
	Cloreto Cl^-	3.79	7.8	9.6	19000
	Nitrato NO_3^-	-	1.0	13	-
Características gerais	STD	7.13	120	434	34500
	Dureza total	-	56	369	-
	PH como CaCO_3	5.7	-	-	-

As propriedades *gerais* que determinam a qualidade das águas são: pH, alcalinidade e acidez, dureza e condutividade.

O *pH* é o logaritmo decimal negativo (base 10) da concentração do ião hidrogénio e é sem dimensão, ou seja: $\text{pH} = -\text{Log}(\text{H}^+)$. A água dissocia-se muito pouco em H^+ (ião hidrogénio) e em OH^- (ião hidroxilo). Quando não há presença de substâncias estranhas na água (água destilada) a concentração resulta $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$ e no caso da electroneutralidade $\sum \text{catiões} = \sum \text{aniões}$; portanto a definição de *neutralidade para a água* é $\text{pH} = 7 = \text{pOH}$.

A *acidez* implica um $\text{pH} < 7$ e *basicidade* implica um $\text{pH} > 7$ (fig. 1.9). O pH aceitável para tratamento de águas residuais é de 6 a 8. O aumento da alumina como coagulante reduz o pH o qual pode ser requerido para a correcção pelo uso da cal (CaCO_3). Para fins ambientais na Tabela 1.7 refere-se os valores típicos expressos em CaCO_3 /litro, que é resultado da medição volumétrica com H_2SO_4 N/50.



Figura 1.9 – A escala de pH da água

A *alcalinidade* é a capacidade da água para aceitar os íons H^+ ou capacidade de desneutralização da base. Stumm e Morgan em 1981 definiram como $[Alc] = [OH^-] + 2[CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] - [H^+]$.

Tabela 1.7 – Valores típicos de alcalinidade da água (Kiely, G., 1999)

Aplicação	Alcalinidade (mg $CaCO_3/l$)	Aplicação	Alcalinidade (mg $CaCO_3/l$)
Montante do rio (calcário)	50 - 200	Água com lodo anaeróbio	2000 - 8000
Lago em jusante baixa	10 - 30	Corrente de água ácida	10 - 20
Água potável	50 - 200	Corrente não ácida	750
Água residual doméstica	200 - 400	Água de solo ácido	10 - 20

A *dureza* é normalmente a soma dos cátions metálicos bivalentes Ca^{2+} e Mg^{2+} , sendo considerada para água potável e não para água residual, e expressando-se em mg/litro de $CaCO_3$ ou em meq/litro. Os íons responsáveis pela dureza são: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Si^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SiO_3^{2-} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , SO_4^{2-} . Na Tabela 1.8 apresenta-se a dureza relativa das águas.

Tabela 1.8 – Dureza relativa das águas

Dureza	meq/l	mg/l como $CaCO_3$	Dureza	meq/l	mg/l como $CaCO_3$
Branda	<1	0 - 75	Dura	3 - 6	150 - 300
Moderada dura	1 - 3	75 - 150	Muito dura	> 6	> 300

A *condutividade* é a capacidade da solução de transportar a corrente elétrica, mediante o movimento de íons, de modo que quanto *maior* é o número de íons (maior concentração de sais) *maior* é a mobilidade iônica e conseqüentemente *maior* é a condutividade. Na Tabela 1.9 vê-se a condutividade para diferentes tipos de águas. Mesmo que este parâmetro não está relacionado com a saúde os E.U.A. estabelece um limite superior de 1500 $\mu S/cm$ (μS é microsiemens).

Tabela 1.9 – Valores típicos da condutividade para diferentes águas

Água	Condutividade ($\mu S/cm$)	Água	Condutividade ($\mu S/cm$)
Quimicamente pura	0.05	Água dura	200 - 500
Destilada	0.1 - 4	Água de rios	100 - 1000
Água de chuva	20 - 100	Águas subterrâneas	200 - 1500
Água branda	40 - 150	Água do estuário	200 - 2000

b) *Propriedades químicas das substâncias orgânicas da água*, são correspondentes aos componentes orgânicos cuja presença na água constituem poluentes

de origem natural ou sintética. Os componentes sintéticos são produtos da indústria química, petrolífera ou agrícola, tais como: pesticidas, produtos agro químicos, produtos tensoactivos (emulsões, espumantes, etc.), hidrocarbonetos halogéneos (clorofórmio, bromofórmio, etc.). Os componentes naturais podem ser: proteínas (bactérias $C_5H_7NO_2$), lípidos (gorduras, parafinas, aceites e hidrocarbonetos), hidratos de carbono ($C_6H_{12}O_6$ glicose, celulose, amido) e pigmentos vegetais (clorofila, etc.).

c) A solubilidade dos sólidos ocorre por processo de dissolução ou precipitação. Por exemplo: 1) A eliminação por precipitação do fósforo usando o elemento fêrrico; 2) Alguns gases (O, N, Ca_2CO_3) dissolvem-se em contacto com a água, pelo que as águas expostas à atmosfera podem conter estes gases; 3) A saturação de O_2 em alguma água à temperatura de $20\text{ }^\circ\text{C}$ é de 7.5 mg/litro que equivale a 80% de saturação. Para pesca é necessário um nível de oxigénio acima de 3 mg/litro.

d) O sistema carbonato, está sempre presente no ambiente e nomeadamente na água. As espécies químicas inorgânicas que são originados pelos minerais (Ca_2CO_3) e na atmosfera (CO_2) podem dissolver-se em água e produzir impacte sobre pH, alcalinidade e capacidade tampão das águas. Por exemplo HCO_3^- , CO_3^{2-} e OH^- opõem-se à mudança do pH ao aumentar-se ácido forte como HNO_3 e H_2SO_4 .

As águas subterrâneas em zonas com formações de calcário são duras devido à alta concentração de cálcio, magnésio e carbonato, e em formações vulcânicas e arenito são brandas. Na Tabela 1.10 vê-se a composição química de algumas águas.

Tabela 1.10 – Química de água subterrânea – Irlanda (Kiely, G., 1999; Daly, D., 1994, análise no Irish Geological Survey State Laboratory)

Parâmetro (mg/litro)	Emprazamento do poço				
	GoreyWexford	Knocktop-her Kilkenny	Ballaghreen Rosco-mmon	Ballen-curry Tipper-ary	Mortar-stown Carlow
Sólidos totais dissolvidos	92	280	360	283	500
Dureza total em $CaCO_3$	60	185	307	225	320
Alcalinidade como $CaCO_3$	18	184	295	237	304
Cálcio	80	54	102	60	118
Magnésio	9.7	1\2.2	12.9	13.4	6.3
Sódio	24	16	8.8	18.8	12
Potássio	3.1	1.9	3	1.3	0.6
Cloreto	35	20	26	17	22
Sulfato	45	nada	nada	2	2
Nitrato como N	0.5	3.0	0.9	1.4	2.8
Amónio livre e sal N	0.1	0.01	0.05	0.04	0.04
Amónio albumina N	-	0.01	0.08	-	0.01
Ferro	0.1	nada	nada	nada	nada
Manganésio	nada	nada	nada	0.01	nada

As águas subterrâneas tendem a ser mais ricas em sais dissolvidas do que as águas superficiais. As quantidades presentes reflectem não somente os substratos

rochosos nas que escoam mas variam também em função do comportamento geoquímico dos compostos químicos envolvidos.

Como há sensíveis variações nas composições químicas das rochas, é de esperar a existência duma certa relação entre a composição da água e das rochas preponderantes na área (Tabela 1.11). Desta forma o sódio e o potássio, dois elementos que ocorrem em concentrações muito próximas na crosta continental participam em quantidades sensivelmente diferentes nas águas subterrâneas.

Tabela 1.11 – Composição média da crosta continental (www.meioambiente.pro.br)

Composto	Composição	Elemento	Composição
SiO ₂	61.9 %	Bário (Ba)	425 mg/L
TiO ₂	0.8 %	Estrôncio (Sr)	375 mg/L
Al ₂ O ₃	15.6 %	Zircônio (Zr)	165 mg/L
Fe ₂ O ₃	2.6 %	Cobre (Cu)	55 mg/L
FeO	3.9 %	Escândio (Sc)	22 mg/L
MnO	0.1 %	Chumbo (Pb)	12.5 mg/L
MgO	3.1 %	Urânio (U)	2.7 mg/L
CaO	5.7 %	Mercúrio (Hg)	0.08 mg/L
Na ₂ O	3.1 %	Prata (Ag)	0.07 mg/L
K ₂ O	2.9 %	Ouro (Au)	0.004 mg/L
P ₂ O ₅	0.3 %		

O cheiro e o sabor de uma água (Tabela 1.12) dependem dos sais e gases dissolvidos. Em geral as águas subterrâneas são desprovidas de odor. Algumas fontes termais podem exalar cheiro de ovo podre devido ao seu conteúdo de H₂S (gás sulfídrico). Da mesma maneira águas com presença de matérias orgânicas em decomposição (turfa por exemplo) podem apresentar H₂S.

O ferro em contacto com oxigénio do ar precipita e torna-se de cor vermelho a castanho e o sabor da água é metálico.

O sulfureto de hidrogénio é um gás com cheiro a ovo podre, e existe em águas desoxigenadas das rochas como a argila preta, calcário com pirite ou leitos de jazigos de sal.

Tabela 1.12 – Sabor das águas subterrâneas pela influência de sais e gases dissolvidos

Composição	Sabor
Cloreto de sódio (NaCl)	Salgado
Sulfato de Sódio (Na ₂ SO ₄)	Ligeiramente salgado
Bicarbonato de Sódio (NaHCO ₃)	Ligeiramente salgado a doce
Carbonato de Sódio (Na ₂ CO ₃)	Amargo e salgado
Cloreto de Cálcio (CaCl ₂)	Fortemente amargo
Sulfato de Cálcio (CaSO ₄)	Ligeiramente amargo
Sulfato de Magnésio (MgSO ₄)	Ligeiramente amargo em saturação
Cloreto de Magnésio (MgCl ₂)	Amargo e doce
Gás Carbónico (CO ₂)	Adstringente, picante

Alguns contribuintes industriais à contaminação das águas subterrâneas são:

Pesticidas que podem ser de uso agrícola ou não. Os E.U.A. considera como padrão uma concentração máxima de 0.1 µg/litro para pesticidas individuais e de 5 µg/litro para pesticidas totais.

Dissolventes industriais são degradantes das massas lubrificantes nas indústrias de metal, electricidade, químicas, papel, peles, etc. (percloroetileno, tricloroetileno, cloreto de metileno, etc.).

Óleos minerais refinados como a gasolina, o gasóleo, etc., que no caso dos E.U.A. o limite máximo admissível é de próximo a 10 µg/litro.

As causas principais da poluição das águas subterrâneas ocasionadas pela actividade humana podem agrupar-se em quatro grupos dependendo da actividade humana que as originou (fig. 1.10): poluição urbana e doméstica, poluição agrícola, poluição industrial e contaminação induzida pelo esgoto.



Figura 1.10 – Fontes da poluição da água subterrânea (www.igm.pt)

Para o estudo de amostras de águas subterrâneas, alguns autores, recomendam limitar os componentes. Presença de E. Coli indica presença de bactérias fecais. O nitrato é o poluente mais comum e nas crianças podem produzir methahemoglobinemia. Nos E.U.A. consideram como concentração máxima permissível de 50 mg/litro. O amoníaco, potássio, cloro, ferro e magnésio, não geram problemas de contaminação significativos para o homem.

1.6.2. Poluição e impactes ambientais nos recursos hídricos

Existem várias fontes de poluição das águas (Tabela 1.13) e a maior delas está localizada nas cidades, onde a falta de saneamento básico adequado contribui para que a grande parte do esgoto das casas e das indústrias sejam descarregados nos rios e ribeiras.

Muitas das estações de tratamento de esgoto descartam o lixo produzido directamente nas águas correntes.

Tabela 1.13 – Formas de poluição das águas
(www.terravista.pt/Ancora/1245/ipolagua.html)

Fontes	Exemplo
Industrial	Fábricas de polpa de papel, fábricas de químicos, fábricas de têxteis, fábricas de produtos alimentares.
Municipal	Estação de tratamento de esgotos que podem receber descargas indirectas de complexos industriais.
Esgotos pluviais/ escoamento urbano	Escoamento de superfícies impermeáveis incluindo ruas, edifícios e outras áreas pavimentadas para esgotos ou tubos antes de descarregarem para águas superficiais.
Agrícola	Excesso de fertilizantes que vão infiltrar-se no solo e poluir os lençóis de água subterrâneos e por sua vez os rios ou ribeiros onde estes vão dar.
Extração de recursos	Minas, petróleo, carvão, gás, etc.
Modificações hidrológicas	Canalizações, construção de barragens.

Os lixos dos aterros municipais quando vazam acabam indo para as águas subterrâneas. Produtos químicos usados nas casas e apartamentos como solventes de tintas, limpadores de fornos, etc. são arremessados no lixo ou no esgoto. De uma maneira ou de outra acabam sempre indo parar na água que abastece as cidades.

A chuva ácida é outra das grandes fontes de poluição da água e a sua capacidade de destruição é tão grande que chega a acabar com a vida aquática.

Os produtos agrotóxicos utilizados nas lavouras infiltram-se no solo e escorrem para os rios, lagos e até às águas subterrâneas.

As águas que provêm das minas subterrâneas em operação ou abandonadas (fig. 1.11) produzem contaminação das águas superficiais (rios, ribeiras, lagos, mares, etc.) pela sua acidez e concentração de metais.

A poluição da água consiste na alteração da sua qualidade natural pela acção do homem, facto que torna parcial ou totalmente inadequada para a aplicação ou uso (Bolea, E., 1984). Na tabela 1.14 apresentam-se os principais poluentes, fontes, o impacte produzido e as medidas de prevenção e correcção comumente utilizadas.

Tabela 1. 14 - Poluição e impacte ambiental da água (elaborado baseado em Conesa V., 1997)

Poluentes	Fontes de poluição	Impacte sobre o meio	Medidas preventivas e correctoras
<p>-Sólidos em suspensão: solos, minerais, subprodutos industriais, etc.</p> <p>-Elementos que mudam o calor: água quente, corantes, entre outros.</p> <p>-Compostos inorgânicos: sal comum, ácidos, sais metálicos, etc.</p> <p>-Nutrientes: compostos de nitrogénio, fósforo, potássio, etc.</p> <p>-Resíduos que demandam nitrogénio: materiais orgânicos podres de bactérias aeróbias, que requerem oxigénio dissolvido.</p> <p>-Compostos orgânicos tóxicos: detergentes, praguicidas, etc.</p> <p>-Contaminantes biológicos: bactérias e vírus, produtos de doenças, etc.</p>	<p>-Erosão, inundações, efluentes de plantas de celulose, etc.</p> <p>-Plantas de energia, fábricas do aço, refinarias, unidades de refrigeração.</p> <p>-Mineração, processos industriais, depósitos naturais, água de rega.</p> <p>-Águas residuais urbanas e industriais, águas procedentes de rega com arraste de fertilizantes, águas residuais de explorações zootécnicas, etc.</p> <p>-Resíduos domésticos e de indústrias alimentárias etc.</p> <p>-Efluentes domésticos, industriais e de explorações agro-pecuárias.</p> <p>-Resíduos humanos, de animais e de indústrias de carne e matadouros.</p>	<p>-Obstrução de correntes, lagos, barragens e canais.</p> <p>-Redução de oxigénio dissolvido e decomposição dos contaminantes e afecção à vida aquática.</p> <p>-Efeitos tóxicos sobre o homem e a vida silvestre, mau cheiro e sabor, corrosão de equipamentos.</p> <p>-Excessivo crescimento da vida aquática, aumento na demanda de oxigénio, mau sabor e cheiro.</p> <p>-Afecção dos peixes a falta de oxigénio.</p> <p>-Ameaça à pesca e vida silvestre, riscos para e o homem em longo prazo por ingestão.</p> <p>-Necessidade de tratamento intenso de água potável.</p>	<p>-Águas superficiais:</p> <ul style="list-style-type: none"> . Redução do volume de vertido e dos poluentes (recirculação, separação, eliminação, recuperação e mudança de uso). . Implantação de tratamento de vertidos. . Eliminação de águas residuais não tratadas. <p>- Águas subterrâneas:</p> <ul style="list-style-type: none"> . Perímetros de protecção. . Impermeabilização e drenagem adequada. . Controlo de injeção de resíduos com sondagem. . Depuração artificial e natural. . Redução da quantidade de vertido da indústria. . Redução de fertilizantes. . Implantação de barreiras de pressão e depressão. . Intercepção de poluentes. . Tratamento de águas ácidas.

É necessário salientar que as leis ambientais cada vez cobrem zonas maiores e continentais, como no caso dos E.U.A. onde a norma aplica-se a todos os estados. Nos países da União Europeia, a comissão da União Europeia (Bruxelas), define normas para todos os países membros. Nem nos E.U.A. nem na União Europeia (EU) está permitido

que um estado ou país membro adote menores exigências às dadas. Portanto, as normas Portuguesas que em seguida se apresentam são praticamente iguais às normas dadas pela EU.



Figura 1. 11 - Poluição ambiental mediante águas ácidas (Boca da mina *Dóllar*, Hunacavelica – Peru, Vidalón J., 2001)

1.6.3. Padrão de qualidade da água

Os padrões de qualidade das águas são as características de ordem física, química e biológica desejáveis nas águas em função dos usos preponderantes estabelecidos pela sociedade.

Os principais parâmetros físicos de qualidade das águas são: cor, turbidez, sabor, odor e temperatura. Os químicos, pH (acidez e alcalinidade), dureza, metais (ferro e manganês), cloretos, nitrogênio (nutriente), fósforo (nutriente), oxigênio dissolvido, matéria orgânica, micropoluentes orgânicos e micropoluentes inorgânicos como os metais pesados (zinco, cromo, cádmio, etc).

Finalmente, os parâmetros biológicos são analisados sob o ponto de vista de organismos indicadores, algas e bactérias.

Os padrões das Tabelas 1.15, 1.16 e 1.17 correspondem ao Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto dado em Portugal, que transpõem as Directivas da actual União Europeia seguintes: Directiva n.º 75/440/CCE do Conselho, de 16 de Junho, relativa à qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano, a Directiva n.º 78/659/CEE, do Conselho, de 18 de Julho, relativa à qualidade das águas doces superficiais para fins aquícolas, Directiva n.º 76/464/CEE, do Conselho, de 14 de Maio, relativa à poluição causada por determinadas substâncias perigosas lançadas no meio aquático, assim como a Directiva n.º 80/68/CEE, do Conselho, de 17 de Dezembro, relativa à protecção das águas subterrâneas contra a poluição provocada por certas substâncias perigosas.

1.7. Poluição da Atmosfera

1.7.1. Qualidade natural e química do ar

A região atmosférica de maior interesse para o tratamento do ecossistema é a que está próximo à superfície do solo que é denominada troposfera, onde existe o componente biológico do ecossistema.

A densidade da atmosfera a nível do mar é de 1.29 kg/m^3 e diminui a medida que aumenta a altitude, acentuando-se a partir de 10 km. Esta realidade implica que a baixas alturas o número de moléculas é elevado num volume determinado de ar e quanto maior a altura diminui este número de moléculas, pelo que o choque molecular é com menor frequência que em camadas baixas e como consequência a temperatura do ar é menor. Portanto, a medida que aumenta a altura existe decréscimo da temperatura em próximo a $0.65 \text{ }^\circ\text{C}$ por cada 100 m de altitude, conhecido como *gradiente vertical*. A uma altitude de 20 a 35 km forma-se a capa de ozono (O_3).

Tabela 1.15 – Valor máximo admissível (VMA) da água para consumo humano (Decreto-Lei n.º 236/98)

Grupo	Componente	VMA	Grupo	Componente	VMA
Físico-quím.	Temp.	25°C	Organo-lépticos	Cor	20 mg/l, escala Pt/Co
	PH	6.5 < pH < 8.5		Turvação	10 mg/l SiO_2
	Condutiv.	400 $\mu\text{S/cm}$		Cheiro	Diluição de 2 a 12°C
	Cloretos	25 mg/l Cl			3 a 25 °C
	Sulfatos	250 mg/l SO_4		Sabor	Diluição de 12 a 12°C
	Cálcio	100 mg/l Ca		Nitratos	50 mg/l NO_3
	Magnésio	50 mg/l Mg		Nitritos	0.1 mg/l NO_2
	Sódio	150 mg/l Na		Azoto amoniacal	0.5 mg/l NH_4
	Potássio	12 mg/l K		Azoto Kjeldahl	mg/l N
	Alumínio	0.2 mg/l Al		Oxidabilidade	5.0 mg/l O_2
	Sub-tóxica	Resíduos dissolvidos total		1500 mg/l	Substâncias indesejáveis	Sulfureto de hidrogénio	Não detectável
Arsénico		50 $\mu\text{g/l}$ As	Hidrocarbonetos	Não detectável	
Cádmio		5 $\mu\text{g/l}$ Cd	Fenóis	10.0 $\mu\text{g/l}$	
Cianetos		50 $\mu\text{g/l}$ Cn	Sulfato de laurilo e sódio	0.5 $\mu\text{g/l}$ $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	
Mercurio		1 $\mu\text{g/l}$ Hg	Organoclorados	200 $\mu\text{g/l}$	
Níquel		50 $\mu\text{g/l}$ Ni	Ferro	$\mu\text{g/l}$	
Chumbo		50 $\mu\text{g/l}$ Pb	Manganésio	200 $\mu\text{g/l}$ Fe	
Antimónio		10 $\mu\text{g/l}$ Sb	Cobre	50 $\mu\text{g/l}$ Mn	
Selénio		10 $\mu\text{g/l}$ Se	Fósforo	100 $\mu\text{g/l}$ Cu	
Pesticidas		0.1 $\mu\text{g/l}$	Flúor	5000 $\mu\text{g/l}$ P	
			Sólidos	1500 $\mu\text{g/l}$ F	
		Prata	100 $\mu\text{g/l}$ Ba		
				10 $\mu\text{g/l}$ Ag	

A concentração dos gases na troposfera é de 78% de N_2 , 21% de O_2 , 1% de A (árgon) e fracciones pequenas de CO_2 , CH_4 , H_2 , CO , etc. (Tabela 1.18). Além, na atmosfera existem constituintes variáveis de origem natural como: vapor de água, NaCl, polvo de meteoritos, compostos de origem vulcânica (polvo de cinzas: HCl, HF, e H_2S), ozono, bactérias, esporas, núcleos de condensação (Magil, 1956).

Na atmosfera os gases apresentam-se em partes por milhão (ppm), partes por bilhão (ppb) e incluso em partes por trilhão (ppt), como o SO₂ em zonas de atmosfera limpa existe em 200 ppm, mas no ambiente poluído pode atingir até 200000 ppt ou 0.0002 % em volume, que em conjunto é insignificante, porém não é desejável por sua toxicidade para o homem e outras vidas.

Tabela 1.16 – Valor máximo admissível (VMA) de águas piscícolas (Decreto-Lei n.º 236/98)

Parâmetros	Água de salmonídeos	Água de Ciprinídeos
	VMA	VMA
Fonte térmica (jusante) (°C)	$\Delta T < 1.5$ da temp. Nat.	$\Delta T < 3$ da temp. Nat.
Oxigénio dissolvido (mg/l O ₂)	50% ≥ 9 , 100% > 7	50% ≥ 7
pH	6 – 9	6 – 9
Sólidos suspensos (mg/l)	25	25
Nitrito (mg/NO ₂)	0.01	0.03
Amoníaco não ionizado (mg/l NH ₃)	0.025	0.025
Azoto amoniacal (mg/l NH ₄)	1	1
Cl resid. Dissolv. total (mg/l HOCl)	0.005	0.005
Zinco total (mg/l Zn)	0.3	1.0
Cobre solúvel (mg/l Cu)	0.4	0.04

Tabela 1.17 – Valor máximo admissível (VMA) de águas destinadas à rega expresso em mg/l (Decreto-Lei n.º 236/98)

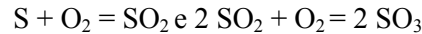
Parâmetros	VMA	Parâmetros	VMA
Alumínio (Al)	20	Arsénico (As)	10
Berílio (Be)	1.0	Boro (B)	3.75
Cádmio (Cd)	0.05	Chumbo (Pb)	20
Cobalto (Co)	10	Cobre (Cu)	5.0
Crómio (Cr)	20	Flúor (F)	15
Lítio (Li)	5.8	Manganésio (Mn)	10
Molibdénio (Mo)	0.05	Níquel (Ni)	2.0
Selénio (Se)	0.05	Vanádio (V)	1.0
Zinco (Zn)	10	pH	4.5-9.0

Tabela 1.18 – Concentração natural de gases na atmosfera (Rasiwell, R., et al., 1992)

Gás	Composição em volume (ppm)	Gás	Composição em volume (ppm)
N ₂	780900	H ₂	0.5
O ₂	209500	Xe	0.08
A	9300	O ₃	0.02
CO ₂	300	NH ₃	0.006
Ne	18	NO ₂	0.001
He	5.2	NO	0.0006
CH ₄	2.2	SO ₂	0.0002
Kr	1	H ₂ S	0.0002
N ₂ O	1		

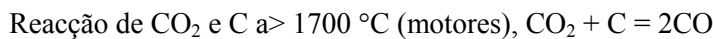
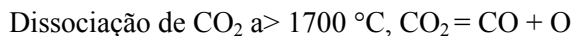
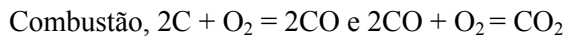
Existem dois tipos de poluentes: primário e secundário. Os *poluentes primários* (SO_2 e SO_x , CO , NO_x , metais, partículas e hidrocarbonetos, aerossóis) são emitidos por acções realizados pelo homem e os *poluentes secundários* (O_3 , oxidantes fotoquímicos, nitrato de peroxiacetilo NPA, hidrocarbonetos oxidados e chuva ácida) são produzidos pela reacção química/fotoquímica dos contaminantes primários.

O SO_2 tem cheiro picante e não arde; porém o SO_3 é altamente reactivo. O SO_x forma-se do modo seguinte:



Geralmente o SO_3 está presente quando a concentração de água é muito baixa, mas quando é alta o SO_3 e H_2O combinam-se para formar o ácido sulfúrico (H_2SO_4).

O CO é incolor, inodoro e insípido, pouco mais ligeiro que o ar e é formado pelas reacções seguintes:

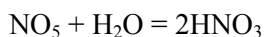
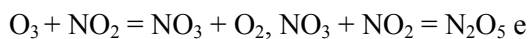
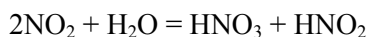


O NO é incolor, inodoro e insípido, porém o NO_2 é picante. O NO_2 emite-se em <quantidade que o NO . A reacção produz-se a $1200 \text{ }^\circ\text{C}$. $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$ e $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$.

O poluente NO_x gera-se ao formar os oxidantes fotoquímicos mediante um processo cíclico e consiste em: $\text{NO}_2 + \text{H}\nu = \text{NO} + \text{O}^*$, donde $\text{H}\nu$ é fóton da energia solar e O^* oxigénio atómico muito reactivo; depois $\text{O}^* + \text{O}_2 = \text{O}_3$ e finalmente $\text{O}_3 + \text{NO} = \text{NO}_2 + \text{O}_2$.

Os *hidrocarbonetos* contêm hidrogénio e carbono, ao estado gasoso e são de três classes: *alifático* (propano C_3H_8), *aromático* (benzeno C_6H_6 , tolueno C_7H_8) e *acíclico* (ciclohexano O_6H_{12}). Estes hidrocarbonetos interagem desequilibrando o ciclo, de modo que o NO converte-se em NO_2 e conseqüentemente aumenta O_3 . Quando o NO_x , os hidrocarbonetos e a luz solar combinam-se produzem poluentes secundários denominados fotoquímicos: Hidrocarbonetos + NO_x + luz solar = névoa fotoquímica.

O HNO_3 (ácido nítrico) e o H_2SO_4 (ácido sulfúrico) são os componentes da chuva ácida. O HNO_3 forma-se das maneiras seguintes:



1.7.2. Poluição acústica da atmosférica

A poluição acústica é um dos problemas ambientais mais frequentes na actualidade, que está relacionada aos meios de transporte, indústrias, construções, instalações e serviços (Tabela 1.19) gerando distintos níveis de impacte ambiental.



Figura 1.12 – Fontes do ruído nas operações da mineração subterrânea (Navarro, V.F., 1999)

Na indústria e em particular na mineração (fig. 1.12) o ruído tem um carácter laboral cujos efeitos manifestam-se: na *produtividade* e na *segurança* (ruídos constantes acima de 80 dB (A) prejudicando a produção levando o trabalhador à irritabilidade, dificuldade de concentração, diminuição da produtividade, erros e acidentes de trabalho), *efeitos sobre o trabalhador* (agressividade, doenças psicossomáticas e depressão, conduzindo a longo prazo à surdez profissional que ocorre aos níveis de 4000 Hz com características da perda auditiva lenta, gradual, progressiva e irreversível), *fadiga auditiva* (ocorre em indivíduos expostos a alto nível de ruído, é reversível e desaparecem algumas horas quando o indivíduo deixa o ambiente ruidoso), *surdez profissional* (ocorre por destruição das células cilhadas do órgão de Corti no ouvido interno, a perda de audição é principalmente a 4.000 Hz, e com o passar do tempo atinge a frequências de 3000 a 6000 Hz).

Tabela 1.19 – Poluição e impacte ambiental sonoro (elaborado baseado em Conesa, V., 1997)

Poluentes	Fontes de poluição	Impacte sobre o meio	Medidas de prevenção e correcção
-Estímulos que directa ou indirectamente interferem desfavoravelmente com o homem, a través do ouvido, dando lugar a sons indesejáveis ou ruidos.	-Meios de transporte (tráfego de automóveis, ferroviário, aeronaves, etc.). -Industria e construção (máquinas nas obras). -Instalações e serviços (Ar condicionado, ascensores, e bombas, etc.)	-Organismo (Fisiológicos, psicológicos, sociológicos e psicossociais; reversíveis e irreversíveis). -Comunidade (perturbação de actividades típicas como trabalho, estudo, sono, etc.) -Psicossociais.	-Planificação urbana. -Mapas acústicos. -Na indústria realizar, controlo e correcção, além de adopção de sistemas de protecção adequados.

O ouvido humano capta uma enorme gama de pressões sonoras. A potência mais débil de som é captada sem dor, sendo que o mecanismo auditivo responde de forma relativa, às mudanças das pressões sonoras. A pressão de referência é o umbral da audição, ou seja o som mais leve que o ouvido pode detectar (pressão sonora de zero dB),

mas níveis de som inferiores a 25 dB não se encontram normalmente. Os sonómetros convencionais podem medir desde 38 dB. Os níveis típicos de pressão sonora estão apresentados na Tabela 1.20.

Tabela 1.20 – Níveis permissíveis de ruído do Departamento de Trabalho dos E.U.A. (1971-1979) e a escala comparativa de pressão sonora e o nível sonoro (Kiely G., 1999)

Ruído dB (A)	Duração (h/dia)	Escala comparativa pressão sonora (μPa) e nível sonoro dB (A)
90	8	
92	6	
95	4	
97	3	
100	2	
102	1.5	
105	1	
110	0.5	
115	<0.25	

1.7.3. A poluição da atmosfera por gases e partículas

A poluição da atmosfera por gases e partículas sólidas são causadas na maioria dos casos pela acção do homem que causa a emissão de poluentes diversos, havendo os que provocam alterações ambientais locais, regionais e globais, que precisam a aplicação de medidas de prevenção e correctivas adequadas (Tabela 1.21).

A poluição do ar é caracterizada pela presença de gases tóxicos e partículas líquidas ou sólidas em suspensão. As descargas de gases dos veículos, das chaminés de fábricas, as queimadas, as indústrias como a mineração (fig. 1.13) lançam constantemente ao ar grandes quantidades de substâncias prejudiciais à saúde.



Figura 1.13 – Fontes de poluição do ar por partículas (poeira) e gases

Tabela 1. 21 - Poluição e impacte ambiental na atmosfera por gases e partículas (elaborado baseado em Conesa, V., 1997 e [http://www.brasil.terravista.pt/albufeira/1950/Poluição%20ar%20\(2\).htm](http://www.brasil.terravista.pt/albufeira/1950/Poluição%20ar%20(2).htm))

Poluentes	Fontes de poluição	Impacte sobre o meio	Medidas preventivas e correctoras
<ul style="list-style-type: none"> -Radiações e ruído. -Aerossóis (partículas sólidas e líquidas de 10^{-1} a $10^3 \mu\text{m}$). -Gases (SO_2, SO_3, SH_2; NO, NO_2, NO_x; HnCm; CO, CO_2). -Metais pesados (Pb, Cr, Cu, Hn, Ni, As, Cd, Hg). -Halogéneos (ClH, Cl_2, FH, hidrocarbonetos aromáticos, dioxinas, substâncias radioactivas, etc.). -Aparição de O_3 e radicais livre activos. -Chuva ácida. -Diminuição da capa de ozono. 	<ul style="list-style-type: none"> -Naturais (cinzas vulcânicas, incêndios florestais, decomposição de matéria orgânica no solo e oceanos). -Industriais (SO_x, hidrocarbonetos, CO, sólidos em suspensão). -Domésticos (calefação: SO_2, hidrocarbonetos). -Centrais térmicas (SO_x, NO_x). -Refinaria de petróleo (SO_2, C_nH_m, NO_x, NH_m, CO). -Veículos com motores de combustão interna, aeronaves, barcos (CO, Pb, SO_2, NO, C_nH_m). 	<ul style="list-style-type: none"> -Saúde e bem-estar do homem (irritações, afecções pulmonares, danos fisiológicos). -Mudança de precipitações, névoa e radiação solar, efeito estufa. -Abrasão, ataque químico e electrolítico. -Diminuição da capa de ozono (cancro de pele, cataratas, etc.). -Precipitação e absorção pelo solo. -Possibilidade de geração de substâncias tóxicas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Programas de controlo da qualidade do ar. -Avaliação de impacte ambiental. -Tecnologias de baixa ou nula emissão de resíduos. -Avaliação de danos em vegetais. -Concentrar e reter os poluentes. -Motores ecológicos em veículos. -Controlo de emissões de combustíveis e carbonetos. -Uso de produtos alternativos não poluentes. -Planificação dos usos do solo. -Áreas verdes.

A emissão excessiva de poluentes tem provocado sérios danos à saúde como problemas respiratórios (bronquite crónica e asma), alergias, lesões degenerativas no sistema nervoso ou em órgãos vitais e até produzir o cancro. Esses distúrbios agravam-se pela ausência de ventos e no Inverno com o fenómeno da *inversão térmica* (ocorre quando uma camada de ar frio forma uma barreira na atmosfera que impede a passagem do ar quente e a dispersão dos poluentes). Morreram em decorrência desse fenómeno cerca de 4000 pessoas em Londres no ano de 1952.

Os danos não se restringem só à espécie humana e toda a natureza é afectada. A toxicidade do ar ocasiona a destruição de florestas, chuvas fortes que provocam a erosão do solo e a obstrução dos rios. Os principais impactes ao meio ambiente são a redução da camada de ozono e o *efeito estufa*.

1.7.4. Padrões de qualidade de gases e partículas

Os padrões de qualidade do ar apresentados nas Tabelas 1.22, 1.23 e 1.24 são os definidos pela Portaria n.º 286/93 de 12 de Março do governo de Portugal como um dos instrumentos de uma política de gestão da qualidade do ar adequadas à protecção da saúde e do ambiente, habilitando se promova a transposição de directivas da União Europeia relativas aos valores limites e valores guias para o dióxido de enxofre e partículas em suspensão (n.º 80/779/CEE e 89/427/CEE), dióxido de azoto (n.º 85/203/CEE), valor limite para o chumbo (n.º 82/884/CEE) e valores guia para o ozono.

Tabela 1.22 – Valores limites admissíveis (VLA) para NO₂, Pb, CO, expressos em µg/m³ (elaborado de Portaria n.º 286/93)

Período considerado	NO ₂	Pb	CO
Ano.....	(.) 200	(..) 2	
Uma hora.....			(...) 40000 (h)
Oito horas.....			(...) 10000 (hh)

(.) Percentil 98 calculado a partir dos valores horários ou de períodos inferiores a uma hora obtidos durante o ano.

(..) Média aritmética dos valores médios diários obtidos durante o ano.

(...) Estes valores só podem ser excedidos uma vez no ano.

(...) Valor médio calculado a cada hora em base nos oito valores horários entre h e h9.

Valor médio horário.

(hh) Valor médio de 8 horas consecutivas, calculadas a cada hora com base nos 8 valores entre h e h9.

Nos casos que não se justifique a monitorização simultânea de SO₂ e das partículas suspensas (*pelo método dos fumos negros*), serão aplicados para *partículas suspensas* os valores indicados.

Nos casos que não se justifiquem a monitorização simultânea de SO₂ e das partículas suspensas (*quer pelo método dos fumos negros, quer pelo método gravimétrico*) serão aplicados para o SO₂ os valores indicados.

Tabela 1.23 – Valores limites admissíveis (VLA) para SO₂ e valores associados (VA) para as partículas em suspensão expressos em µg/m³ (elaborado de Portaria n.º 286/93)

Período considerado	Medidos por método de fumos negros (simultâneo)		Medidos por método de gravimetria (simultâneo)		VLA de SO ₂ (1)	VLA de SO ₂ (2)	VA para partículas em suspensão (3)
	VLA para SO ₂	VS para partículas	VLA para SO ₂	VS para partículas			
Ano..... (*)	120	>40	80	>150	80	100	150
	120	≤40	120	≤150			
Inverno (1 Outubro a 31 Março) (**)	130	>60	130	>200	130	-	-
	180	≤60	180	≤200			
Ano (período medição (24 horas) (***))	(i)250	>150	(i)250	>350	(i)25	(i)250	300
	(i)30	≤150	(i)350	≤350			

(*) Mediana dos valores médios diários obtidos durante o ano.

(**) Mediana dos valores médios diários obtidos durante o inverno.

(***) Percentil 58 calculado a partir dos valores médios diários obtidos durante o ano.

A norma da União Europeia (86/188/CEE) trata sobre a protecção dos trabalhadores contra os riscos relacionados com a exposição ao ruído no trabalho, especificando que quando o nível de exposição diária seja maior de 85 dB (A) o trabalhador deve ser alertado dos riscos e treinado para uso de protectores dos ouvidos, mas quando ultrapassa os 90 dB (A) será necessário implementar um programa de redução. Os Valores limites dos níveis sonoros do ruído produzido por veículos automóveis contemplado pelo Decreto-lei nº 292/89 de 2 de Setembro de Portugal apresenta-se na Tabela 1.25.

A ISO (*International Organization for Standardization*) 1996 estabelece limites admissíveis de ruído para zonas residenciais e ambientes de trabalho, os que foram tomados como referência por alguns países do mundo (Tabela 1.26).

Tabela 1.24 – Valores limites de emissão de aplicação geral, expressos em mg/m³ para toda indústria e para um teor de 8% de O₂ (elaborado da Portaria n.º 286/93)

Poluente	VLA	Substâncias cancerígenas
Partículas	300	Substâncias cancerígenas:
Bióxido de enxofre SO ₂	2700	
Sulfureto de hidrogénio H ₂ S	50	Categoria 1: para caudal mássico >= 0.5 g/h
Óxido de N expressos em NO ₂	1500	Categoria 2: para caudal mássico > 5 g/h
Monóxido de carbono CO	1000	Categoria 3: para caudal mássico >= 25 g/h
Compostos orgânicos, expressos em C total	50	Categoria 1: Amianto, fibras de todos os tipos, benzeno, cloreto de vinilo, cromatos de zinco e potássio, 2-naftilamina, trióxido de arsénico.
Compostos inorgânicos fluorados, expressos em F ⁻	50	Categoria 2: Acrinonitrilo, benzopireno, 1.3
Compostos inorgânicos clorados, expressos em Cl ⁻	250	butadieno, 1-cloro, 2 3-epoxipropano (hipocloridina), cromato de cálcio, cromato de crómio III, cromato
Metais pesados totais	8	de stroncio, dibenzoantraceno, 1 2-dibromoeteno, 3
Cd, Hg	0.2	3-diclorobenzidina, 1.2-exporipropano, oxido de
As, Ni	1	etileno, sulfato de dimetilo. Categoria 3: Cromato de
Pb, Cr, Cu	5	chumbo.

1.8. As Mudanças Climáticas

O balanço de energia do sistema terra/atmosfera tem um importante efeito modificador da radiação terrestre: trata-se do *efeito estufa*, pelo qual parte da energia calorífica emitida pelo solo volta a este ao serem absorvidas pelas moléculas do vapor de água e outros gases, chamados *gases estufa*, os quais depois de absorverem a dita energia emitem de novo radiação calorífica em todas as direcções. Desta forma a temperatura próxima à superfície é uns 33 °C superior à que a Terra teria no caso de não ser influenciada por este fenómeno.

Tabela 1.25 – Valores limite do nível sonoro contínuo equivalente (Leq) (Decreto-Lei n.º 292/2000)

Categoria de veículo	VLA Leq dB (A)
Zonas sensíveis (usos habitacionais, escolas, hospitais, espaço de lazer)	55 diurno 45 nocturno
Zonas mistas (comercio, serviços)	65 diurno 55 nocturno
Veículos rodoviários a motor (tolerância em relação ao valor fixado) Para veículos que não têm valor fixado no livrete, a medição será em base a NP 2067	5
Tráfego aéreo (proibido aterragens ou descolagens de aeronaves civis, entre 0 a 6 horas)	

Tabela 1.26 – Limites de ruído dB (A) para instalações industriais em áreas residenciais (Falch, E. *et al*, 1998)

Pais	Hora do dia	Período de descanso	Hora de noite
Áustria	50-55	-	40-45
Bélgica	45-50	40-45	35-40
Dinamarca	45-50	40-45	35-40
França	50-55	45-50	40-45
Alemanha	50-55	Ajuste 6 dB	35-40
Hong Kong	60-65	-	50-55
Itália	50-55	-	50-55
Japão	50-60	45-50	40-45
Coreia	50-55	45-50	40
Holanda	50	45	40
Noruega	50	45	40
Suécia	50-55	45-50	40-45
Suíça	55	-	45

Desde o começo da era industrial, as concentrações atmosféricas do dióxido de carbono aumentaram quase 30%, as concentrações do metano foram dobradas, e as concentrações do óxido de azoto aumentaram aproximadamente 15%.

Acredita-se que os combustíveis fósseis queimados para fazer funcionar carros, camiões, casas e negócios do calor e fábricas da potência são responsáveis com aproximadamente 98% de emissões do dióxido de carbono nos E.U.A., 24% de emissões do metano, e 18% de emissões do óxido de azoto.

Em 1997, os E.U.A. emitiram-se aproximadamente um quinto de gases globais totais da estufa. Para 2100, na ausência de políticas do controlo de emissões, as concentrações do bióxido de carbono são projectadas em 30-150% mais elevado do que níveis actuais.

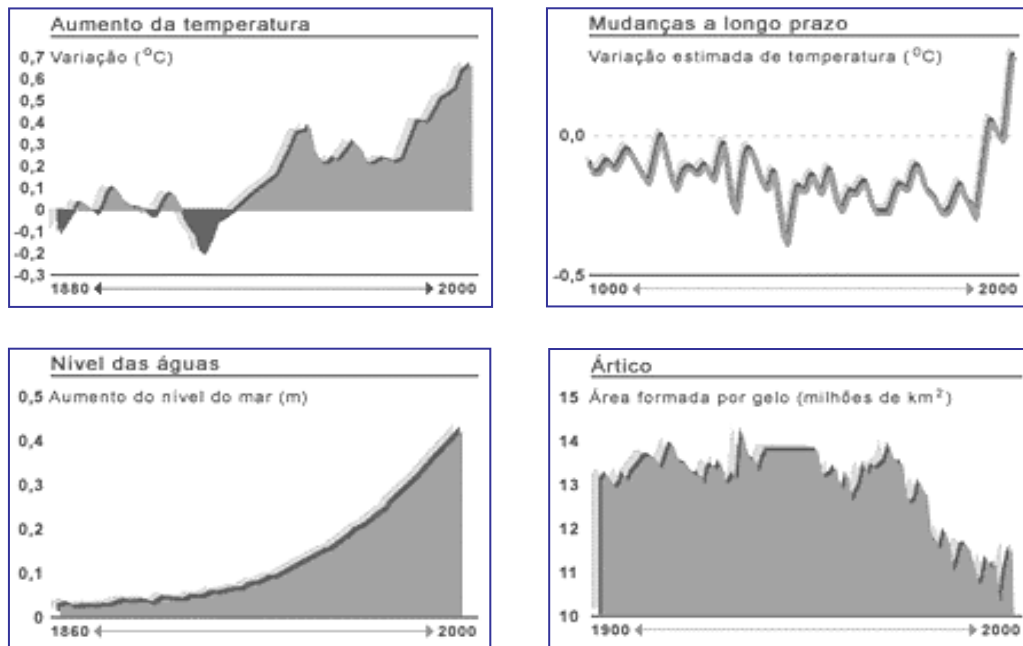


Figura 1. 14 – Mudança global do clima (Centro de Estudos integrados sobre meio ambiente e mudanças climáticas, disponível em <http://www.centroclima.org.br/aquecimento.htm>)

As temperaturas de superfície médias globais, influentes na mudança do clima, aumentaram de 0,5 a 1,0 °F desde o passado século XIX. A cobertura da neve no hemisfério do norte e o gelo flutuando no oceano ártico diminuíram. O nível de mar levantou-se de 4 a 8 polegadas no século passado (fig. 1.14). A precipitação sobre a Terra aumentou por aproximadamente um por cento.

A concentração crescente de gases da estufa é provável que acelere a mudança do clima. Espera-se que a temperatura da superfície global em média aumente de 1 a 4,5 °F (0,6 a 2,5 °C) nos cinquenta anos seguintes, e de 2,2 a 10 °F (1,4 a 5,8 °C) no século seguinte, com variação regional significativa. A evaporação aumentará quando o clima aquece, aumentando a precipitação global média. A humidade do solo é provável que decline em muitas regiões, e é provável que as tempestades intensas se tornem mais frequentes. O nível de mar é provável que aumente 0,60 m ao longo da maioria da costa dos E.U.A.

O Protocolo de Quioto foi aprovado em 1997, e estabeleceu como meta, reduzir as emissões de gases poluentes dos países industrializados em 5,2% até 2012, sobre os níveis existentes em 1990.

1.9. Técnicas de Análise Ambiental

As técnicas de análise ambiental têm relação com a economia, a contaminação e uso do ambiente com externalidades. A preocupação ambiental implica acção mais respeitosa com o ambiente para o qual é necessário estabelecer meios ou ferramentas que permitam a sua protecção. Na União Europeia aconselham-se as seguintes ferramentas: a) *Auditoria ambiental*; b) *Identificação de riscos*; c) *Análises de risco*; d) *Análises de risco de vida*; e) *Gestão e controlo da qualidade ambiental*; f) *Análise custo/benefício*; g) *Estudos de impacte ambiental* e h) *Controlo integral da contaminação*.

Estas técnicas têm aplicação distinta, assim, a *análise do ciclo de vida* é aplicável aos produtos para diminuir seu impacte ambiental negativo; a *auditoria ambiental* é aplicável a uma empresa ou instalação para adaptar às normas ambientais; os *estudos de impacte ambiental* aos projectos para entre varias alternativas a que seja a menos daninha para o ambiente.

1.9.1. Metodologia de minimização: objectivos

A minimização é um processo produtivo relativo ao consumo de matérias e serviços, e à produção de resíduos e emissões. Para isso, adaptam-se medidas de organização e de operação que procurem a minimização viável técnica e economicamente. Sempre é muito importante à *redução em origem* de produtos poluentes e assim reduzir os processos de tratamento e eliminação final.

A minimização, consiste em aplicar as equações de balanço de massa e de energia, de forma selectiva e orientada especificamente a uma melhora e um mínimo contacto ambiental, implica acções de organização do trabalho, o controlo de qualidade, a gestão de todas as matérias e serviços utilizados, que darão como resultado uma produção mais económica, de melhor qualidade e de melhor competitividade. A aplicação desta metodologia exige três etapas:

Primeira etapa: acção frente a uma legislação e norma sobre vertidos de água, de resíduos, de emissões à atmosfera e sobre danos ao ambiente, que contemplam sanções económicas e até com pena privativa de liberdade.

Segunda etapa: vai mais lá do estrito cumprimento da norma, adoptando-se um comportamento ambiental com forte orientação à redução de custos. A norma é reduzir, reciclar e recuperar (RRR).

Terceira etapa: considera o comportamento ambiental do entorno relacionado ao uso do produto, embalagens, relação com o cliente, imagem, etc. Nesta parte é importante o cumprimento das normas existentes.

Os componentes dum processo de minimização são: a) Plano de minimização; b) Auditoria de resíduos e c) Mudanças nas técnicas e na organização.

1.9.2. Auditoria ambiental

É similar à avaliação de impactes ambientais, com a diferença de que na *auditoria* se realiza a avaliação para num processo, para uma actividade ou uma operação e não para todo um projecto. Consiste numa inspecção sistemática relacionado ao

ambiente. O Conselho da UE adoptou em 1993 um esquema de Auditoria de Gestão Ambiental (EMAS), passando a ser obrigatório desde 1995. Os EMAS são um processo contínuo e gradual de melhoria ambiental em relação com as actividades das industriais.

No caso da auditoria ambiental para uma indústria, pretende-se identificar e avaliar os efeitos ambientais tanto directos como indirectos, como são: a) As emissões controladas e não controladas à atmosfera; b) Os vertidos controlados e não controlados nas águas e esgotos; c) Os resíduos sólidos e de outro tipo, particularmente os perigosos; d) A contaminação do solo; e) A utilização do solo, água, combustíveis e energia, e outros recursos naturais; f) A emissão de energia térmica, ruído, cheiros, poeiras, vibrações e impacte visual; g) As repercussões em sectores concretos do ambiente e do ecossistema.

1.9.3. Gestão do risco ambiental

As responsabilidades por danos ambientais levaram as empresas a prever a gestão do risco ambiental nas empresas, fundamentalmente em empresas cuja actividade reverte perigosidade.

A imagem pública, a regulamentação, os seguros, os custos financeiros, etc. fazem necessário prevenir a gestão do risco dum acidente industrial.

Esta gestão realiza-se a diversos níveis da empresa e com diferentes prioridades prevendo diversos cenários de acidentes e planificando o inesperado.

A modelização e a formação jogam um grande papel na gestão do risco ambiental, juntamente com a prevenção da poluição e seu controlo.

1.10. Avaliação do Impacte Ambiental

Tem por finalidade a identificação, a predição, a interpretação, a prevenção, a correcção e a ponderação dos impactes ambientais que um projecto ou actividade produziria no caso da sua realização, com a possibilidade de evitar ou reduzir a níveis aceitáveis. Pode-se tipificar em:

Avaliação simplificada, para projectos de baixo risco de afecção e só com a avaliação qualitativa do impacte;

Avaliação preliminar, realizado com informação existente e sem investigação específica, pode dar passo à avaliação detalhada;

Avaliação detalhada, com aplicação de projectos com altos riscos e vários níveis de afecção. A nível geral a metodologia de avaliação do impacte ambiental resume-se na fig. 1.15.

1.10.1. Inventário ambiental e identificação de factores vulneráveis

Descreve o estado de *referência* ou pré-operacional do ambiente, assim também a predição da sua evolução sem a acção do projecto. Os elementos e factores ambientais, Tabela 1.27, podem ser inventariados em termos cartográficos devendo ser uma informação sensata e moderada. O inventário é útil no momento da avaliação de impactes e comparar alternativas.

É necessário identificar os factores susceptíveis de receber impactes pela execução do projecto, usando os seguintes critérios: a) Representatividade do entorno afectado; b) Relevância em relação à magnitude do impacte; c) A não sobreposição com outros factores; d) Facilidade para a sua identificação e e) Possibilidade da sua quantificação

Tabela 1.27 – Elementos e factores ambientais (Barettino Fraile, D., 1992)

Elemento do meio	Factor ambiental
Terra	Solo, morfologia, elementos singulares, recursos minerais e rochas industriais
Atmosfera	Composição da atmosfera, clima, ruído, cheiros.
Água	Superficiais e subterrâneas.
Processo geofísico	Dinâmica dos leitos, zonas inundáveis, erosão, sedimentação, estabilidade de encostas, subsidência, sismicidade induzida, vibrações, recarga de aquíferos.
Paisagem	Qualidade da paisagem, incidência visual.

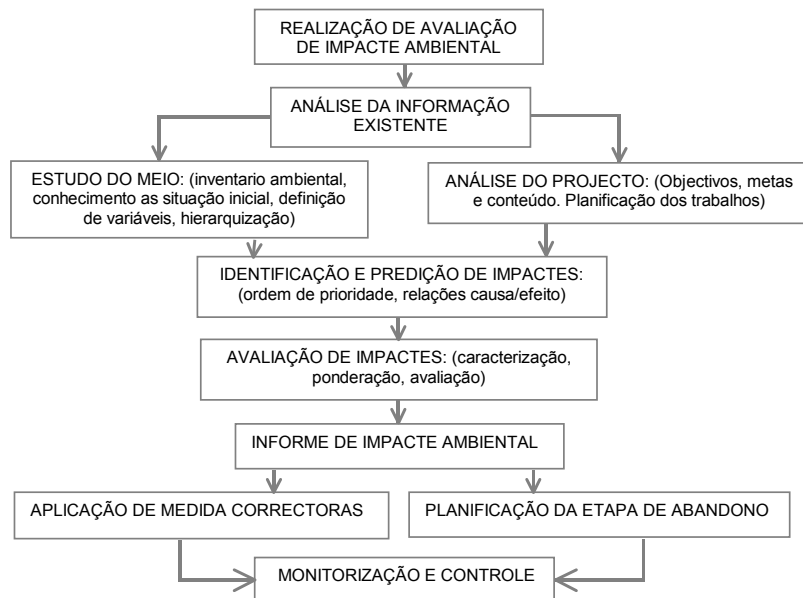


Figura 1.15 – Metodologia geral de avaliação do impacto ambiental (Sanz, J.L, 1992)

1.10.2. Identificação DAS acções que causam impactes ambientais

É conveniente identificar as acções e elementos relacionados para cada fase do projecto. Por exemplo estas acções podem ser: movimento de terras, ocupação do solo pelas instalações e equipamentos da indústria, emissão de poluentes, eliminação da cobertura vegetal, mudança temporal ou permanente dos cursos de águas, construção de

estradas e acessos. Para tal fim podem-se usar os instrumentos existentes: Listagem geral, consulta a grupo de expertos, míos comparados, matrizes gerais e particulares da relação causa/efeito.

1.10.3. Identificação e predição de impactes

Utiliza as técnicas de: sobreposição de cartografias temáticas, meios comparados, matrizes causa/efeito, matrizes cruzados, redes e gráficos de interacção, etc. Os impactes ambientais podem ser directos ou indirectos. Assim, um impacte directo sobre a água supõe alteração da sua qualidade e como consequência indirectamente o impacte sobre a fauna e a flora e inclusive sobre a saúde humana.

1.10.4. Caracterização e ponderação de impactes

As caracterizações dos impactes ambientais podem ser realizadas considerando diversos critérios, segundo: a) Seu carácter genérico ou sinal: benéfico ou positivo, adverso ou negativo; b) O tipo de relação causa/efeito: directos e indirectos; c) A projecção no tempo: temporal ou permanente; d) A projecção no espaço: local ou pontual ou extensivo; e) A proximidade espacial do impacte: próximo à fonte ou afastado da fonte; f) Sua reversibilidade pelos próprios mecanismos do meio: reversível ou irreversível; g) Sua recuperabilidade com meios correctoras: recuperável ou não recuperável.

A avaliação pode ser qualitativa, estabelecendo uma escala seguinte: compatível, moderada, severo e crítico. Também pode ser quantitativo mediante indicadores de impacte.

1.10.5. Metodologia e avaliação de impactes ambientais

Segundo Sanz, J.L., (1992), existem mais de cinquenta metodologias de avaliação de impactes ambientais, elaborados para projectos específicos, mas pode-se aplicar a outros similares.

Estes métodos agrupam-se do modo seguinte: a) *Rede e gráficas*: matriz causa/efeito, listagem, CNERPAB, Bereano, Sonrensen, guias metodológicas de MOPU e banco Mundial; b) *Cartográficos*: sobreposição de transparentes, Mc Harg, Tricart e Falque; c) *Indicadores, índices e interpretação da avaliação*: Holmes, Universidade de Georgia, Hill-Schechter e Fisher-Davis; d) *Quantitativos*: Batelle – Columbus.

1.10.6. Matriz causa/efeito

É um método qualitativo e muito útil para avaliar diversas alternativas dum mesmo projecto, sendo mais conhecido como matriz de *Leopold*. Este método considera nas *linhas* os factores ambientais que podem ser afectados e nas *colunas* as acções que ocasionariam os possíveis impactes (Tabela 1.28).

Cada quadrícula da interacção divide-se em diagonal, fazendo constar na parte esquerda à *magnitude M* do possível impacte, precedido de sinal positivo (+) ou negativo (-) conforme o impacte seja favorável ou desfavorável, na escala de 1 a 10, respectivamente mínima e máxima (zero não é válido).

Na parte direita da diagonal faz-se constar a *importância* do possível impacte, também em escala de 1 a 10 (com idéntica estrutura). O texto que acompanhe a matriz

consistirá na discussão dos impactes mais significativos, isto é, aquelas cudriculas cujas linhas e colunas estejam indicados com as maiores qualificações e aqueles valores isolados com números superiores.

O somatório das magnitudes por filas indica as incidências do conjunto sobre cada factor ambiental e portanto, a sua *fragilidade* ante o projecto, e o somatório por colunas dará o valor relativo ao *efeito* que cada acção poderá produzir no ambiente e, portanto, a sua *agressividade*.

1.10.7. Método do Instituto Batelle – Columbus

O método está baseado na definição duma lista de indicadores de impacte com 78 parâmetros ambientais que se ordenam primeiramente segundo 18 componentes ambientais agrupados em 4 categorias (Tabela 1.29), denominando os do 1º nível como *categoria*, do 2º nível como *componentes*, 3º nível como *parâmetros* e a os de 4º nível como *medidas ou índices*. O componente de 3º nível é a chave do sistema de avaliação.

Os 18 componentes que este método considera são: espécies e população, habitats e comunidades, ecossistemas, poluição da água, poluição atmosférica, poluição do solo, ruído, solo, ar e água, etc.. Com a lista de parâmetros ambientais pretende-se obter: representação de qualidade do ambiente, facilidade na medição no terreno, resposta às experiências do projecto e possibilidade de avaliação do mesmo (Conesa, V., 1997).

Tabela 1.28 – Exemplo de matriz de impactes ambientais (modificado de Sanz, J.L., 1992)

Matriz de impactes ambientais			Acções causam efeitos ambientais								Avaliação			
			Operações de infra-estrutura			Processos de arranque	Processos de vertido e transporte	Processos de classificação e tratamento	Geração de escomboreiras					
			Construção de edifícios e plantas	Novas viagens	Esgotos e drenagens				Implantação	Acções de rede de drenagem		Medidas correctivas (restauração)		
Factores Ambientais	Impacte geoambiental	Terra	Solo	-8/3	-4/2	-2/2	-10/8	-8/7	-9/5	-10/6		+10/8	-41/41	
			Morfologia	-2/2	-1/5		-10/17			-10/8			+5/9	-18/31
			Superficiais	-2/7	-1/2	-5/2	-5/9		-10/10	-8/9	+10/+10	+5/10	-16/59	
		Água	Subterrâneas				-5/6		-8/9		+10/10	+5/10	0/35	
			Qualidade						-10/10		+2/10	+7/10	-1/30	
			Composição (gases, poeiras)				-3/4	-5/9				+3/5	-5/18	
		Processos	Atm.	Ruído				-3/4	-8/8	-2/5				-15/17
				Erosão			-4/1	-6/5			-7/5	+4/7	+5/7	-8/25
				Inundação				-5/7			-5/6	+2/8	+5/7	-3/28
	Sedimentação		Sedimentação							-5/5		+5/7	0/12	
			Subsidência							-2/1			-2/1	
			Instabilidade							-7/9		+7/10	0/19	
			Dissolução							-5/5		+5/5	0/10	
			Compactação e assentamentos						+10/10				+10/10	
													0	
	Impacte Bio ambiental	Flora	Árvores	-5/10	-1/2		-10/10		-3/5	-10/7		+10/6	-19/40	
			Arbustos e herbáceas	-8/8			-8/10		-3/5	-4/7	+1/5	+7/6	-15/41	
			Micro floresta						-5/5				-5/5	
Fauna		Aves						-2/1	-2/2				-4/3	
		Animais terrestres				-5/7	-3/4	-3/5	-4/4	+2/5	+2/6	-11/31		
		Micro fauna						-5/5				-5/5		
		Cultivos							-3/8	+6/9		+3/17		
		Paisagens	-10/8			-10/10		-5/8	-10/10		+5/10	-30/46		
		Espaços abertos				-10/10		-5/8	-10/10		+2/7	-18/27		
Impactes social e económico	Emprego	+5/10			-10/10	-10/10			+2/10	+2/10	+29/50			
	Usos de solo (Turismo, etc.)				-5/10			-5/10		+8/7	-2/27			
	Avaliação	-30/48	-7/11	-11/5	87/117	-6/49	-65/74	-103/120	35/64	98/140				

Tabela 1.29 – Categorias ambientais do método Batelle – Columbus

Categoria ambiental	Componente	Parâmetros	Índice de qualidade ambiental IQA			Sinais de alerta
			Sem impacte	Com impacte	Mudança neta	
Ecologia						
Poluição						
Estética						
Humano						

1.11. O Ciclo de Vida do Produto

O ciclo de vida do produto, denominado LCA (*Life Cycle Assessment*), analisa o impacte ou carga ambiental ocasionado ou associado aos produtos, processos e actividades desde a sua origem (matérias primas, secundarias ou produtos semi-elaborados) a partir dos quais fabricam-se ou processam-se, passando pelo uso de energia, fabricação, transporte, distribuição, armazenamento, utilização, manutenção e reutilização, até retirar do mercado e transformar-se em resíduo que será reciclado, depositar ou eliminado.

Na fig. 1.16 é ilustrado um esquema que representa em termos gerais o ciclo de vida do produto no processo produtivo de operações mineiras e nomeadamente nas etapas de exploração e concentração.

Em cada momento e lugar, a tecnologia, as condições ambientais, os factores culturais, etc. condicionam de diferente maneira nos resultados da análise do ciclo de vida.

Igual que qualquer análise de impacte ambiental as etapas são: a) A realização do inventário, aquisição de recursos, fabricação, usos e gestão de resíduos; b) A análise do impacte, que supõe uma classificação, caracterização e avaliação dos *impactes*; (c) A análise das melhoras, que consiste na procura de alternativas de prevenção e correcção dos impactes identificados.

A realização das diversas etapas está normalizada por organismos como a ISO (International Organization for Standardization).

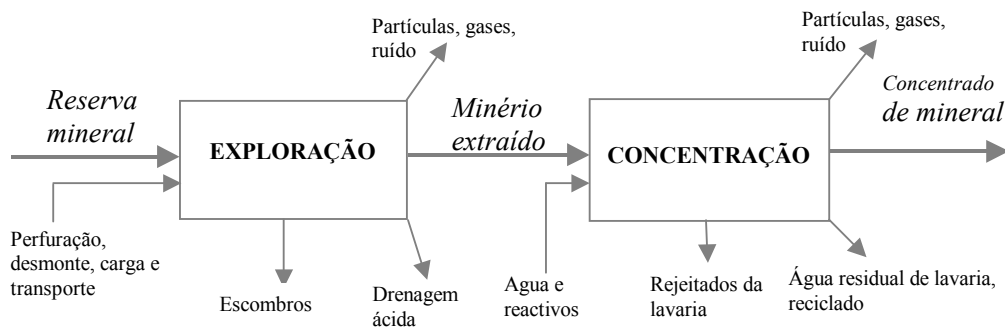


Figura 1.16 – Esquema general do ciclo de vida na exploração e concentração de minerais

1.12. Normas da Série ISO 14000

1.12.1. Aspectos gerais

A ISO (International Organization for Standardization) é um organismo não governamental com sede em Genebra, com mais de 100 países membros e é dedicada à padronização para produtos, segurança e ambiente, com abrangimento internacional.

Em 1987, a ISO concluiu as normas da série ISO 9000 adoptadas e reconhecidas a nível mundial, cujo êxito permitiu adquirir confiança para desenvolver outras normas.

A causa de preocupação global sobre os problemas ambientais, a ISO estabelece um compromisso com a UNCED (Conferência sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento) para elaborar as normas ambientais, constituindo um grupo de trabalho denominado SAGE (Strategic Advisory Group on the Environmental) que equivale a dizer Grupo Assessor Estratégico sobre o Ambiente, que concluiu as suas actividades no ano de 1992.

Em Março de 1993 a ISO constituiu o comité técnico denominado ISO/TC 207 (fig. 1.17) com a finalidade de desenvolver os sistemas e ferramentas de administração ambiental para certas áreas ambientais.

Este comité (TC 207) dividiu-se em seis grupos, cada um deles dirigido por um representante de um país:

Sistemas de administração ambiental: Reino Unido

Auditoria ambiental: Países baixos

Classificação ambiental: Canadá

Desempenho ambiental (avaliação do desempenho ambiental): E.U.A.

Análise do ciclo de vida (avaliação do ciclo de vida) E.U.A.

Aspectos ambientais em normas sobre produtos: Alemanha

Entre as normas ISO 9000 e ISO 14000 existem algumas semelhanças embora existam marcadas diferenças (Tabela 1.30).

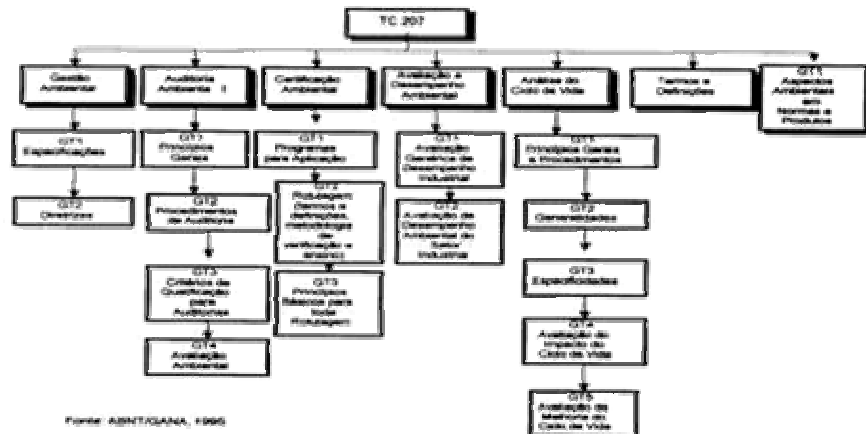


Figura 1.17 – Organograma da ISO 14000

1.12.2. Importância da norma ISO 14000

Considera-se a norma ISO 14000 como um factor de desenvolvimento e do comércio internacional (Cascio, J. et al., 1997), fundamentalmente porque:

Facilita o comércio eliminando as barreiras comerciais, nos últimos anos deram-se normas nacionais e regionais no campo ambiental, como no caso dos E.U.A., Canadá, Inglaterra, União Europeia entre outros, que criaram barreiras comerciais, como a Eco etiqueta por exemplo.

A norma permite a melhoria ambiental a nível mundial, pelo facto de serem normas de consenso internacional, proporcionar uma concepção e terminologia ambiental comum e desempenhar um papel significativo na avaliação ambiental do planeta que facilitam a harmonização internacional de estratégias ambientais.

Melhora a administração ambiental, por estar preparada para atender todas as etapas da operação numa organização, seus produtos e serviços, incluindo elementos de política ambiental, recursos, capacitação, operações, resposta a emergências, auditorias, medidas e revisões administrativas; conseguindo-se a fiabilidade mediante a percepção contínua e a participação de todos os directivos e empregados.

Tabela 1.30 – Comparação entre as normas ISO 9000 e a ISO 14000

Partes	ISO 9000	ISO 14000
Metas	Proporciona às organizações um meio de demonstrar ante o cliente os requisitos e objectivos de qualidade	Proporciona um elemento dum sistema de administração ambiental, incluindo assessoria e conseguir as expectativas dum bom desempenho ambiental
Estrutura	Mistura de actividades de administração com requerimentos de processo e de verificação. Norma é aparte	Está dentro dum modelo baseado em: <i>planificar, fazer, verificar e actuar</i> . A norma é separada
Conteúdo	ISO 9001 como ISO 14001 incluem elementos de compromisso e responsabilidade da direcção, documentação de administração do sistema, controlo de documentos, controlo operacional, capacitação, vigilância, inconformidade e medida correctiva, registos e auditoria	ISO 14001 inclui elementos discretos ambientais, requerimentos legais, objectivos e metas, programa de administração, comunicações e resposta a emergências
	ISO 9001 inclui elementos discretos de planificação de qualidade, identificação do produto e monitorização e técnicas estatísticas	ISO 14001 inclui elementos discretos ambientais, requerimentos legais, objectivos e metas, programa de administração, comunicações e resposta a emergências

1.12.3. A ISO 14001 ou Sistema de Gestão Ambiental

Segundo a série ISO 14001, a gestão ambiental é a declaração da organização das suas intenções e princípios em relação com seu comportamento ambiental, que proporciona um marco para a sua actuação e para o estabelecimento de seus objectivos e metas ambientais.

Segundo a norma francesa NF (*X-30-200 Système de Management Environnemental*), a gestão ambiental é um conjunto de actividades de gestão que define a política ambiental, seus objectivos e responsabilidades e que serve para implantar tais actividades mediante a planificação dos objectivos, a medida dos resultados e controlo dos efeitos. Esta norma indica que a responsabilidade das tarefas de gestão ambiental é

competência de todos os escalões da gestão da empresa, que deve ser conduzido pela direcção, tomando em consideração os aspectos económicos e sociais pertinentes.

O plano Verde Holandês indica que o objectivo principal da gestão ambiental é a conservação da capacidade de carga do meio ambiente para o desenvolvimento sustentável e que supõe prevenir ou minimizar os efeitos não desejados provenientes da actividade humana.

O sistema de gestão ambiental inclui a estrutura organizacional, a planificação das actividades, as responsabilidades, as práticas, os procedimentos, os processos e recursos para desenvolver, implantar, realizar, revisar e manter actualizada a política ambiental.

1.12.3.1. A série ISO 14001 como elemento mais importante da norma ISO 14000

Os temas que abrangem a norma ISO 14000 podem-se dividir em duas áreas separadas: A primeira é relacionada com a administração duma organização e seus sistemas de avaliação e a segunda com ferramentas ambientais para a avaliação do produto (fig. 1. 18).

As normas ISO 14000 podem-se agrupar em termos gerais em dois: a) A do sistema de gestão (14010, 14011, 14012 e 14031) e b) Norma de produtos (14020, 14021, 14023, 14024, 14040, 14041, 14042, 14043 e 14060) (Tabela 1.31). A ISO 14000 é aplicável quer a empresas grandes quer a pequenas, tendo alcance mundial.

1.12.3.2. Avaliação da organização

A norma de série ISO 14001 é a base de toda a norma ISO 14000, denominada norma do sistema de administração ambiental EMS (*Environmental Management System*) e é o documento de especificações do sistema da administração da série ISO 14000, que deve cumprir uma organização que procura o registo ou certificação pela norma, depois de passar uma auditoria dum terceiro independente e devidamente acreditado e registado.

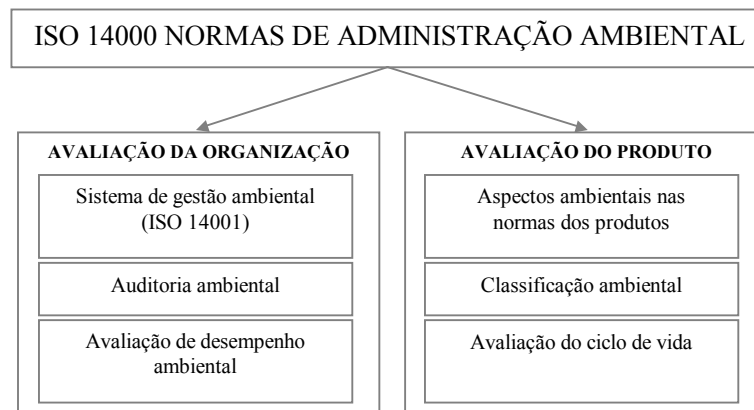


Figura 1.18 – Família das normas ISO 14000 (baseado em Cascio, J. et al., 1997)

A função da norma ISO 14001 é similar às das normas ISO 9001, 9002 e 9003 da série ISO 9000.

A ISO 14001 também foi concebida para aquelas organizações que queiram declarar a sua conformidade à norma pelas segundas partes que estejam dispostas a aceitar a auto declaração sem a participação dum terceiro.

O desafio principal quer para a organização quer para o auditor é de que exista uniformidade na interpretação das especificações.

A estrutura do EMS inclui o compromisso e política ambiental com metas e objectivos definidos, a planificação, actividades de implantação e operação, programa de controlo ou comprovação, revisão ou auditoria administrativa, de maneira que coadjuve em alcançar as metas e objectivos antes estabelecidos (fig. 1.19 esquerda).

A figura 1.19 (direita) ilustra em termos gerais os elementos do EMS onde os de maior importância estão na parte inferior.

**Tabela 1.31 – ISO 14000 normas de administração ambiental
(baseado em Cascio, J. et al., 1997)**

Série	Avaliação da organização	Série	Avaliação do produto
14001	<i>Sistema de Gestão ambiental EMS: especificação com guia para seu uso</i>	14020	<i>Classificação ambiental (EL): princípios básicos para as classificações ambientais</i>
14004	<i>Sistema de Gestão ambiental (EMS): guias gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de suporte</i>	14021	<i>Classificação ambiental (EL): auto declaração de afirmações, termos e definições</i>
14010	<i>Guia para auditoria ambiental (EA): princípios gerais</i>	14022	<i>Classificação ambiental (EL): símbolos e rotulagem ambiental</i>
14011/ 1	<i>Guia para auditoria ambiental (EA): procedimentos de auditoria Parte 1 – auditoria de sistemas de administração ambiental</i>	14023	<i>Classificação ambiental (EL): metodologia de testes e verificações</i>
		14024	<i>Classificação ambiental (EL): princípios guia e procedimentos para certificados de programas de critérios múltiplos</i>
14012	<i>Guia para auditoria ambiental (EA): critérios de qualificação para auditores de sistemas de administração ambiental</i>	14040	<i>Avaliação de ciclo de vida (LCA): princípios gerais e guias para análise do ciclo de vida</i>
		14041	<i>Avaliação de ciclo de vida (LCA): análise de metas e definições/âmbito de inventário</i>
14031	<i>Avaliação de desempenho ambiental (EPE): guias para a avaliação do desempenho ambiental</i>	14042	<i>Avaliação de ciclo de vida (LCA): avaliação do impacte</i>
		14043	<i>Avaliação de ciclo de vida (LCA): avaliação das melhoras</i>
14050	<i>Termos e definições (T&D)</i>	14050	<i>Termos e definições (T&D)</i>

É importante salientar que a ISO 14001 não tem nada ver com a maneira em que a empresa opta em mitigar ou reduzir os impactes ambientais para obter a maior eficiência ambiental. A ISO 14001 aborda a maneira em que a empresa pode proceder em implantar uma estrutura de gestão que garanta a implantação de programas de mitigação ou redução dos impactes ambientais, que os processos estejam documentados, que se definam e atinjam as metas ambientais e que se dê uma formação adequada.

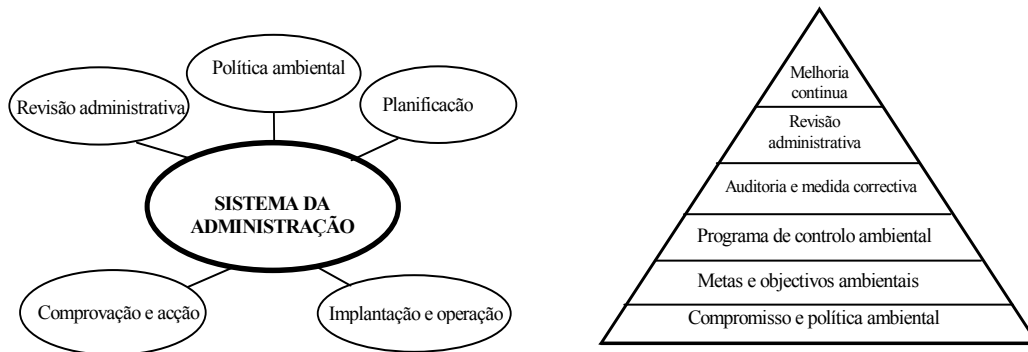


Figura 1.19 – Elementos principais (esquerda) e pirâmide (direita) dum sistema de administração ambiental EMS ISO 14001

A diferença da ISO 9000 a ISO 41001 fixa objectivos e metas, mas também a forma como realizar o seguimento e medição destes.

As *guias gerais sobre princípios, sistemas e técnicas (ISO 14004)* têm carácter informativo e não é utilizado para a certificação ou registo, inclui alguns exemplos, decisões e opções e recomendações práticas que ajudam a implementação do EMS.

As *ISO 14010, 14011 e 14012* são documentos a serem utilizados como guias para funcionários de registo, *auditores* e organizações que ponham em prática o documento de especificações ISO 14001.

A ISO 14010 estabelece que uma auditoria deve ter claramente definido e documentado o tema a auditar, pelo que os auditores não estão em liberdade de escolher o tema, sendo responsabilidade da organização definir os objectivos da auditoria. O âmbito e critérios da auditoria são estabelecidos entre o auditor e a organização. Os membros da equipa de auditoria devem ser independentes das actividades que estão a auditar, embora que o uso de auditor externo ou interno está a escolha da organização. O relatório final inclui temas numerosos sendo a conclusão o mais delicado que constitui o juízo profissional do auditor.

A ISO 14011 é de uso opcional da norma ISO 14001 e o seu elemento chave é o desenvolvimento de um plano de auditoria. Indica o relacionado a que aspectos os auditores devem auditar os processos da revisão administrativa interna para assegurar a adequação e efectividade do EMS e não desempenhos ou efectividade do sistema.

A ISO 14012 também é opcional da ISO 41001 e estabelece critérios de qualificação dos auditores ambientais internos e externos em relação a seu nível de

educação, capacitação, experiência, atributos, habilidades pessoais e grau de competência.

A ISO 14031 é relacionada com a avaliação do desempenho ambiental, que também para a norma ISO 14001 é opcional, embora recomenda-se que as organizações a podem utilizar como referência. Proporciona uma base de indicadores de desempenho ambiental para organizações de todo tipo e com carácter de exemplo.

1.12.3.3. Avaliação do produto

As séries correspondentes à avaliação do produto compreendem os guias para aspectos ambientais em normas de produtos EPAS (ISO 14020, 14021, 14022, 14023 e 14024) e para a classificação ambiental e avaliação do ciclo de vida LCA (ISO 14041, 14042 e 14043), mas não são necessariamente parte do EMS pelo que não são exigidos por ISO 14001.

As séries EPAS só advertem que os redactores das especificações de normas de produtos considerem as consequências positivas e negativas que elas geram.

Em relação à classificação e avaliação do ciclo de vida LCA, também a norma ISO 14000 não se define os padrões ambientais pela sua complexidade e diversidade de organizações existentes.

1.13. Custo Ambiental

É evidente que a protecção ambiental tem um custo económico. Por exemplo, uma preocupação global no aspecto ambiental sem dúvida é o impacte ambiental negativo na atmosfera terrestre como a poluição do ar, o efeito estufa e a camada de ozono.

Estima-se que a nível mundial existem cerca de 800000 mortes por ano devido à poluição do ar (bronquite crónica, cancro dos pulmões, doenças cardiovasculares, pneumonia e asma) dos quais um 80% acontece em países desenvolvidos (World Health Organization WHO and the World Resources Institute, WRI, 2000). Estima-se que na Europa provoca cerca 6% da mortalidade total com um custo de 1.7% do PIB no caso da França, Suécia e Áustria (*Europe Ministerial Conference for Environment*, 2000).

Em países em desenvolvimento atribui-se que a poluição do ar provoca mortes por infecção dos pulmões em 80% de crianças menores de 5 anos (Tabela 1.32).

Tabela 1.32 – Cargas ambientais que provocam riscos de doenças na saúde humana (Murray and López 1996; Smith, 1998)

Grupo de saúde ambiental	Percentagem do total de DALY's							
	África	Índia	China	Ásia/Pacífico	América Latina	FSE	LDCs	EM E
Água/saneamento	13	11	4.5	10	7	2	9	1.5
Malária	9	0.5	0	1.5	0	0	3	0
Poluição ar interior	5.5	6	9.5	4	0.5	0	5	0
Poluição ar urbano	1	2	5	2	3	3	2	1
Lixos agro-industriais	1	1	1.5	1.5	2	2	1	2.5

A estimativa do custo ambiental global realizado pelo *Yokohama Group* (2000) com base do ano fiscal de 2000 baseado no conceito do *Indicador da Carga Ambiental* denominado Eco Point (EP) (Tabela 1.33) considera as emissões de CO₂, CH₄, SO_x, NO_x, CFC (cloruração), COD (Demanda Química de Oxigénio), P, metais pesados, etc. gerados pelas actividades produtivas e de serviços.

Em 1999 uma Comissão Europeia (Amann, M. *et al.*, 2000) estimaram o custo de redução do nível de poluição ambiental do ar atmosférico dos países membros da União Europeia (15) para os principais poluentes identificados paróximo de 70 milhões de Euros por ano (Tabela 1.34).

Tabela 1.33 – Custos ambientais globais ocasionados pelas actividades produtivas e de serviços (*Yokohama Group*, 2000)

Categoria de custos ambientais de produção e serviços	Medida	Custos	
		Milhões Yen	%
Prevenção de poluentes	Ar, água e solo	186	15.8
Protec. ambiental global	Uso eficiente de energia, etc.	84	07.1
Reciclagem	Papel, deposição e tratamento de lixo	182	15.8
Impactes por redução e aumento de área	Aquisição “verde”	11	00.9
Actividades de gestão	EMS e educação ambiental	543	46.2
Investigação e desenvolvimento	Processos e tecnologia limpa	101	08.6
Protecção em actividades sociais	Reservas naturais e comunidade	60	05.1
Danos ambientais	Investigação e restauração solos	8	00.5

Tabela 1.34 – Custo de redução de alguns poluentes atmosféricos que causam o efeito estufa em países da União Europeia (Amann, M., *et al.*, 2000).

Poluente	Redução de 1999 a 2010 (%)	Custo de redução (bilhões de Euros/ano)
NO _x e VOC	50 – 53	54
SO ₂	75	14
NH ₃	15	1.6

VOC: Componentes Voláteis Orgânicos

Na República Popular de China os custos da monitorização e mitigação estimados para diversas indústrias representam um valor médio de 23% (Tabela 1.35) (*Consultants, Ecology and Environment, Inc., United States*, 2001), sendo para a indústria mineiro metalúrgica de 2% a 43%.

Finalmente, o problema da economia ambiental relaciona-se com o custo e benefício das disitintas empresas dedicadas à exploração e transformação de recursos naturais.

O objectivo básico da empresa é a geração de lucro, portanto, esta deve gerar recursos para investir na recuperação daquilo que ela utilizou da natureza.

Actualmente aumenta a importância das auditorias nas grandes células sociais para avaliar os custos ambientais presentes e futuros (Contabilidade Social e Ambiental). Aumentam os investimentos das células sociais na recuperação e preservação ambiental; portanto, o activo e o passivo ambiental não podem ser ignorados.

**Tabela 1.35 – Custo de protecção ambiental na República Popular de China
(Consultants, Ecology and Environment, Inc., E.U.A., 2001)**

Nome	Investimento fixo (Y100000)	Investimento na protecção ambiental (Y10000)	Percentagem (%)
ATC	57058	19112	33.5
CNM	17984	5097	28.3
WFW	31930	564	1.8
WHC	19339	882	4.6
WSC	38045	8573	22.5
WZM	39981	4550	11.4
HTS	26026	7727	29.7
JTS	16094	7064	43.9
Monitorização	4263	4263	100.0
Total	250720	57832	23.1

ATC=Anhui Tongdu Copper Limited Company; CNM=Chizhou Non-Ferrous Metals Group Company; WFW=Wuhu Felying Wood Chemicals Limited Company; WHC=Wuhu Hengxin Copper Group Company; WSC=Wuhu Shangjiang Chemicals Limited Company; WZM=Wuhu Zhengxing Materials Limited Company HTS=Huangshan Tourist Group Limited Company; JTS=Jihua Tourism Group Company.

1Yuan = 0.1208 \$US

O passivo ambiental é avaliado mediante auditoria especializada nas unidades produtivas da empresa, identificando a não conformidade com os requisitos legais e com sua política ambiental, para depois fazer a avaliação da área contaminada para que finalmente as soluções sejam valorizadas monetariamente

Os três principais categorias de custos que compõem o passivo ambiental são: (1) Multas, taxas e impostos a serem pagos face a inobservância de requisitos legais; (2) Custos de implantação de procedimentos e tecnologias que possibilitam o atendimento às não conformidades; (3) Dispêndios necessários à recuperação da área degradada e indemnização às populações afetadas.

Um conceito interessante é a exaustão de recursos minerais ou florestais que é idêntica à depreciação da estimativa de produção (Gouveia, N., 1976). Consiste em obter o valor da exaustão por unidade, e multiplica-lo pela quantidade extraída em cada ano, até a exaustão total dos recursos. A vida útil, no caso de recursos minerais e florestais, é determinado pela estimativa de unidades de produção que serão extraídos dessa fontes.

Exemplificando, suponhamos uma jazida do minério X adquirida por € 100000.00, sendo estimada sua capacidade em 800000 toneladas (vida útil).

O valor de exaustão de cada tonelada será: $100000\text{€}/800000\text{ t} = 0.125\text{€}/\text{t}$

Supondo que no primeiro ano sejam extraídas 200000 toneladas de minério, o valor da exaustão desse ano seria de € 25000 ($200.000 \text{ t} \times € 0.125$). Sendo extraídas 120000 toneladas no segundo ano, a exaustão será de € 15000. Quando a jazida estiver completamente esgotada, o valor da exaustão total corresponderá ao custo histórico da jazida

A exaustão dos recursos naturais vai prejudicar o meio ambiente como também a empresa que faz uso destes recursos como matéria prima.

Com a escassez de matéria prima utilizada pela empresa ela gerará ineficácia por não satisfazer as suas necessidades e também como isto gerará ineficácia no meio ambiente por exaurir os recursos naturais.

Uma empresa de celulose que não originar recursos para reflorestamento chegará um ponto que não haverá mais árvores para serem utilizadas como matéria prima.

A indústria do pescado deve fazer com que não haja desequilíbrio na reprodução dos peixes. Caso contrário terá ineficácia dos meios patrimoniais.

O progresso de todos deve ser feito com uso racional do meio ambiente natural, devolvendo ao mesmo tempo aquilo que for tirado.

Capítulo 2

METODOLOGIA PARA MINAS SUBTERRÂNEAS

2.1. Mineração e o Ambiente

2.1.1. Introdução

Historicamente, a mineração é vista essencialmente como uma actividade industrial não compatível com a protecção do ambiente. Mas, em anos recentes, os problemas ambientais nesta indústria têm sido abordados de maneira importante, ocupando uma posição significativa nos aspectos político, social e económico (Singh, R.N., 1998).

No aproveitamento do recurso mineral da natureza, a participação humana utilizando diversos processos, produz impacto ambiental, não só pelo movimento de terras ou rochas, mas também pelo uso de substâncias químicas perigosas.

A exploração e o aproveitamento dos recursos minerais, dentro do conceito da conservação do meio ambiente, devem realizar-se mediante uma gestão racional e integral. O esquema da fig. 2.1 representa um modelo de funcionamento do processo mineiro, onde se observa o carácter dinâmico, espacial e temporário das suas actividades.

As actividades básicas que são: prospecção e avaliação de reservas, exploração, concentração ou beneficiação e refinação; provocam impacte ambiental de diversa forma e intensidade, tais como: uso original de terrenos, emanação de poluentes diversos em cada actividade unitária e, finalmente, no esgotamento de reservas, etapa em que se deve realizar um fecho sistemático e restauração dos terrenos afectados. O uso racional, integral e eficiente do meio natural, no processo da indústria mineira, precisa duma gestão adequada dos recursos minerais, para o qual é necessário considerar os seguintes aspectos:

- Aproveitamento integral das matérias-primas;
- Reciclagem de efluentes ou resíduos resultantes do processo operacional;
- Eficiente utilização da energia;
- Exploração racional de jazigos minerais;
- Planeamento de produção de acorde com a procura e oferta;
- Legislação e norma ambiental.

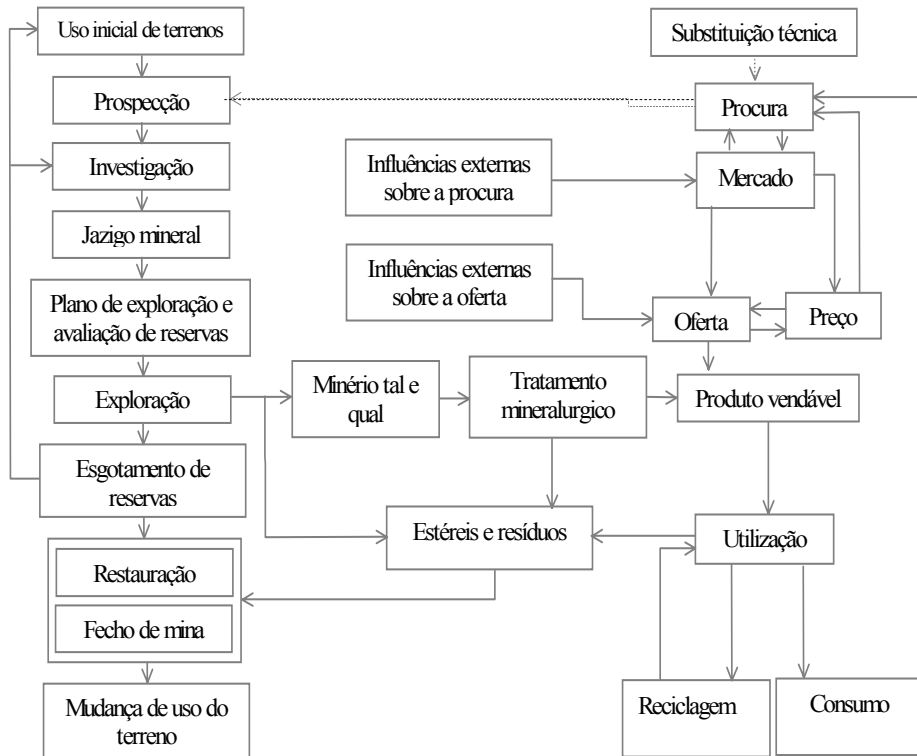


Figura 2.1 – Esquema geral de uma actividade da indústria mineira (López Jimeno, C., 1989)

A maior parte das actividades que o homem desenvolve são em maior ou menor grau agressivas para a natureza. No caso da mineração, por exemplo, a restauração de terrenos afectados no final da vida da mina é importante porque, se assim não for, o terreno ficará em situação de degradação. Portanto, na actualidade o conceito baseia-se em considerar as operações de exploração como transitórias e não terminais.

2.1.2. Actividades mineiras e a sua relação com o ambiente

A OGMC (*Oil, Gas, Mining, Chemicals*) da IFC (International Finance Corporation) do Banco Mundial (<http://www.ifc.org/mining/key/environment/environment.html>), referindo-se à *mineração e ambiente* indica que a mineração pode causar perturbações ambientais que variam desde a deposição de escombros e rejeitados, alteração dos solos, a poeira e o ruído e até o uso e poluição da água. No caso em que não é controlada adequadamente, algumas destas alterações podem afectar adversamente a saúde e a subsistência dos grupos vulneráveis e a biodiversidade da área de influência das operações.

A chave para a mitigação dos riscos ambientais é de ajuste a padrões apropriados e a monitorização. Todos os projectos da mineração têm de obedecer às normas sociais e

ambientais que ajudem a assegurar que as operações de mineração sejam empreendidas duma maneira responsável.

Para este fim, é necessário considerar seis aspectos principais: uso da terra e da água; gestão de escombros; gestão de produtos químicos e poluentes; deposição dos rejeitados; riscos de saúde humana; riscos ambientais potenciais e planos para mitigação destes riscos.

Finalmente, é importante anotar que a adequada protecção ambiental e social tem que ser assegurada em todos os estágios de uma operação de mineração como: prospecção e avaliação do jazigo mineral, construção, operação e fecho de operações da mina.

O processo da actividade mineira deve-se realizar dentro do princípio da conservação do ecossistema e para que isso aconteça é necessário realizar uma adequada gestão ambiental, tendo em consideração a interacção das actividades do projecto mineiro com ambiente circundante.

A concepção actual da relação da actividade mineira com o ambiente está orientada fundamentalmente ao impacte causado pela actividade da exploração de minérios realizado pelo homem frente ao ecossistema localizado no seu âmbito de acção (fig. 2.2).

Para uma adequada gestão ambiental nas operações mineiras é fundamental realizar-se o estudo de impacte ambiental (Tabela 2.1), que deve compreender a caracterização das fontes, identificação dos impactes ambientais e procurar medidas correctivas, a aplicação destas (medidas correctivas) e, finalmente, o acompanhamento mediante uma monitorização sistemática que garanta o cumprimento da aplicação da medida adoptada para desta forma garantir a protecção ambiental da natureza.

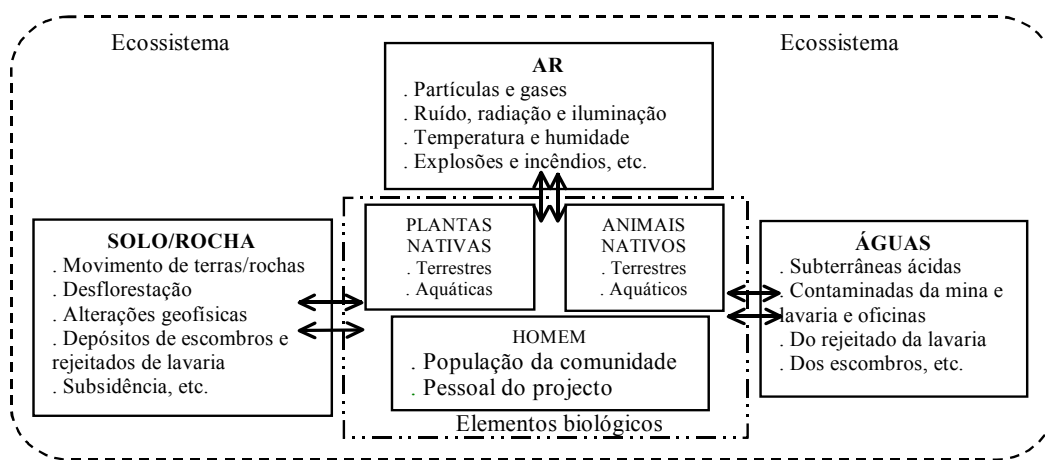


Figura 2.2 – Concepção da relação entre as actividades da mineração e o ambiente

2.1.3. Exploração de jazigos minerais

É a etapa que compreende a construção da infra-estrutura mina, o arranque, remoção e transporte das reservas minerais, para seu posterior tratamento mineralógico e metalúrgico, utilizando métodos, equipamentos, materiais e produtos de vários tipos.

O método de exploração utilizado normalmente divide-se em dois grupos: subterrâneo e céu aberto. A exploração a céu aberto aporta mais de 70% da produção mineral no mundo e a subterrânea os restantes 30% (fig. 2.3).

Na maioria dos países produtores de mineral, como o Peru, as minas que utilizam o método subterrâneo são entre 80% a 90% e entre 10% a 20% os que exploram pelo método a céu aberto (Llanque, O; Navarro, V.F., et al., 1999). A mineração subterrânea é o sector com maior pessoal humano directamente ocupado (López Jimeno, C. 1989).

Tabela 2.1 – Fontes de impacte ambiental e medidas correctivas no processo da exploração de minas

Fontes e impacte ambiental	Medidas correctivas
. Ocupação do solo pelas aberturas, escombrelras, construção de vias de acesso, edifícios e planta de tratamento mineralúrgico.	. Retiro e recolha de terra vegetal das áreas ocupadas com vegetação . Plano e modelos de recuperação do terreno, depois da exploração, de modo a que permita a utilização produtiva e ecológica. . Revegetação de áreas afectadas. . Uso de métodos indirectos de exploração e métodos alternativos de deposição de escombros. . Estabilização física e química da escombrelra.
. Poluição de águas superficiais (partículas sólidas, elementos tóxicos e não desejáveis dissolvidos, acidificação, presença de elementos metálicos como Cu, Fe, Mn, Zn, etc.) pelos escombros, e pela descarga de efluentes de água ácida de uma mina. . Alteração do regime de águas subterrâneas por bombagens e aberturas no maciço rochoso. . Contaminação das águas subterrâneas com aceites, hidrocarbonetos, etc.	. Canalização e drenagem a depósitos de sedimentação para o processo de decantação antes da bombagem. . Monitorização permanente sobre a quantidade e qualidade da água. . Isolamento de materiais solúveis e poluentes, com protecção mediante materiais estáveis da própria mina. . Recolha de óleos e massas consistentes, hidrocarbonetos, etc. para evitar a poluição da água.
. Poluição do ambiente com poeiras, gases, ruído, explosões, incêndios.	. Prevenção e controlo de poeiras, gases, ruído e riscos de incêndios. . Rega das frentes de trabalho e estabilização físico-química de poeiras. . Uso de equipamento e maquinaria adequados. . Utilização de dispositivos de protecção.

A nível geral a exploração a céu aberto caracteriza-se pela remoção de grandes volumes de material e como consequência utilização de maquinaria de grande capacidade, realiza-se normalmente por processo de bancadas descendentes com secções transversais troncos cónicas (fig. 2.4).

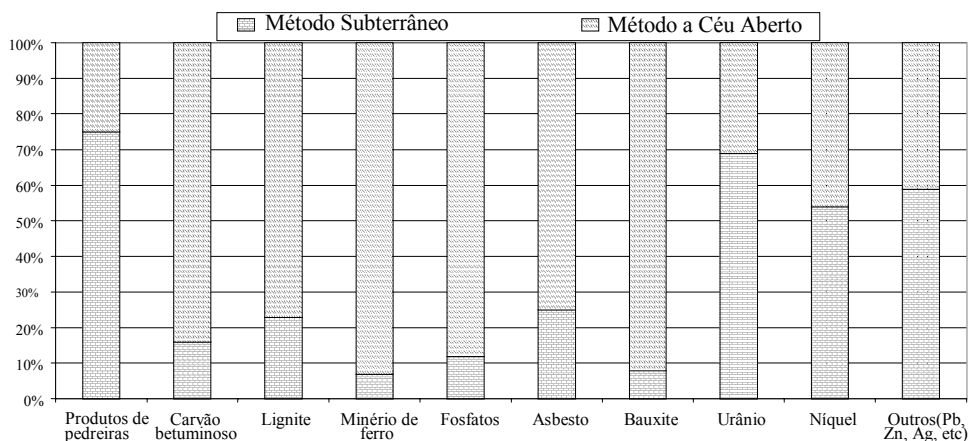


Figura 2.3 – Relação da mineração subterrânea e a céu aberto na produção de diferentes substâncias minerais (elaborado baseado em López Jimeno, C., 1989).

O movimento de material pode atingir no caso do Peru a ordem de 50000 a 150000 t/dia, utilizando máquinas de perfuração para realizar furos com 215 a 440 mm de diâmetro, cargas explosivas na ordem de 0.15 a 0.20 kg/t, pás carregadoras até 23 m³ de capacidade de balde e caminhões com motor diesel na ordem de 200 a 350 t de capacidade. No transporte algumas minas utilizam telas transportadoras e locomotivas com motor diesel.

Na exploração subterrânea a remoção de escombros é em menor quantidade que no método a céu aberto sendo, neste caso, um dos problemas do controle da estabilidade das aberturas subterrâneas (fig. 2.4). A produção de minério pode atingir entre 6000 a 30000 t/dia, utilizando máquinas de perfuração pneumáticas ou electro-hidráulicas (furos com diâmetros de 33 mm a 165 mm) e carga explosiva da ordem de 0.25 a 0.30 kg/t. Na carga e transporte utilizam-se normalmente LHDs eléctricas ou diesel, locomotivas eléctricas e caminhões diesel.

Para a avaliação de impactes ambientais gerados pelo processo de exploração de jazigos minerais, é muito importante identificar as fontes de impacte ou poluição ambiental, o qual tem relação com o ciclo operacional ou ciclo de vida (fig. 2.5) desta etapa produtiva.

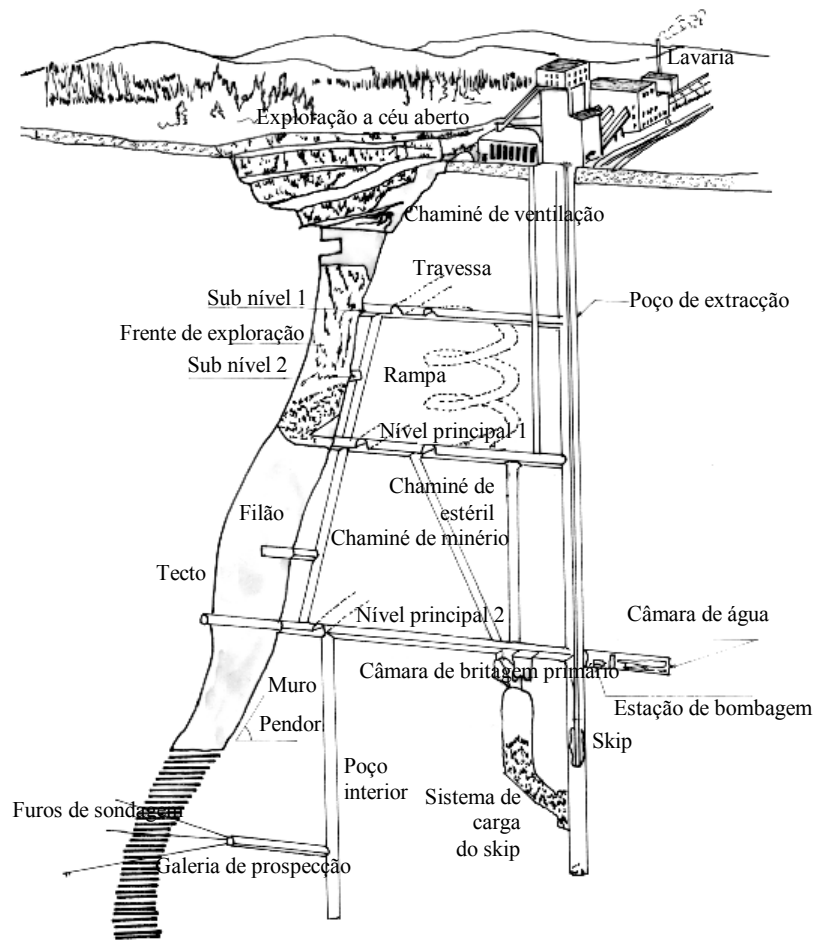


Figura 2.4 – Métodos de exploração subterrânea e a céu aberto (Llanque, O; Navarro, V.F., et al., 1999)

Cada método de exploração subterrânea ou a céu aberto tem vantagens e inconvenientes ambientais (Tabela 2.2), devido às particularidades no processo operacional.

O presente estudo de investigação está orientado à engenharia do ambiente subterrânea, que tem relação com o processo de exploração subterrânea do jazigo mineral. Portanto, as fontes de contaminação ou poluição ambiental estão relacionadas com as actividades do ciclo operacional, que em termos gerais são: perfuração, desmorte (disparo), suporte, remoção, carga e transporte de mineral e/ou estéril, que ocasionam a contaminação da atmosfera subterrânea, os riscos ambientais pela alteração do escoamento das águas subterrâneas e drenagem ácida e pela queda e desprendimento de rochas.

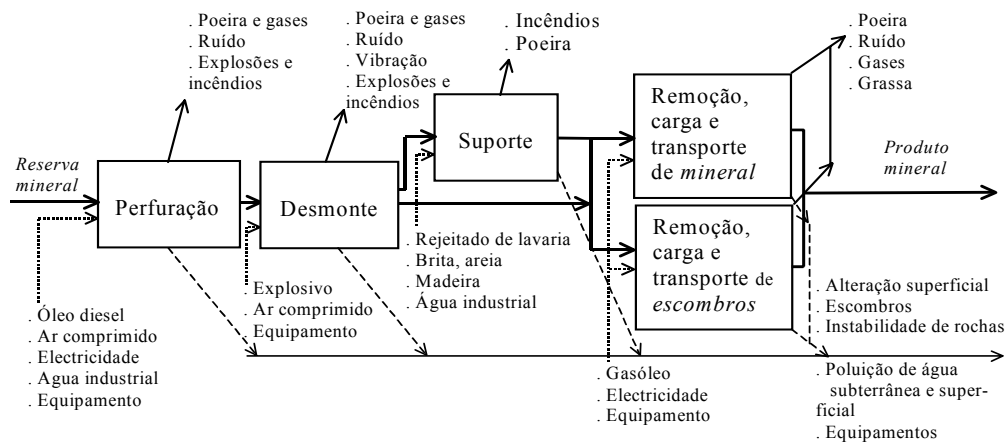


Figura 2.5 – Etapas gerais da exploração de jazigos minerais e fontes de impacto ambiental

2.2. Concepção do Ambiente Subterrâneo

2.2.1. Definição de ambiente subterrâneo

As pesquisas bibliográficas realizadas no Capítulo 1, sobre o avanço da humanidade no tema ambiental, permitem caracterizar e definir o que é o ambiente subterrâneo.

Para tal fim é conveniente rever algumas definições aceitas sobre o ambiente, para depois conceber o ambiente subterrâneo, visando desenvolver a Engenharia Ambiental para este âmbito.

Uma definição aceita do ambiente pela Conferencia de Estocolmo em 1972 é no sentido de que o *ambiente é um conjunto num momento dado, dos agentes físicos, químicos, biológicos e dos factores sociais susceptíveis de causar um efeito directo ou indirecto, imediato ou em longo prazo, sobre os seres vivos e as actividades humanas.*

Tabela 2.2 – Vantagens e desvantagens ambientais dos métodos de exploração de minas (Ripley Earle, A., et al., 1996; Llanque, O, Navarro, V.F., et al., 1999)

Métodos de exploração	Vantagem ambiental	Desvantagem ambiental
a) Subterrâneo · Sem suporte	- Escasso desmorte de rocha em relação à mineração a céu aberto	- Potencial grande de subsidência - Oxidação por exposição do material
· Com enchimento	- Pouco risco de subsidência - Pouco escombros	- Risco de oxidação e combustão de material de suporte - Drenagem ácida e afecção aquíferos

Tabela 2.2 (cont.) – Vantagens e desvantagens ambientais dos métodos de exploração de minas (Ripley Earle, A., et al., 1996; Llanque, O, Navarro, V.F., et al., 1999)

Métodos de exploração	Vantagem ambiental	Desvantagem ambiental
b) Superficial . Céu aberto . Aluvial	- Fácil acesso e menor risco para trabalhadores, em comparação à mineração subterrânea - Relativamente fácil controle do dano ambiental	- Grande quantidade de escombros - Poeiras, ruído e oxidação - Risco de emissão de partículas para a atmosfera e hidrosfera. - Alteração superficial
c) Indirecto . Lixiviação “in situ” . Utilização “in situ”	- Redução de escombros, rejeitados e alteração superficial - Redução do risco de trabalho - Mínimo risco de subsidência e escassa produção de resíduos sólidos - Mínimo risco de trabalho	- Grande quantidade de solução de sal. - Risco de contaminação de águas subterrâneas e superficiais - Difícil controle do processo no subsolo - Alto risco de contaminação de águas subterrâneas

Gallopín em 1981, conceitua que o *ambiente dum sistema pode-se definir como outro sistema que influi no sistema considerado e recebe a influência deste*.

Kielly, G. (1999), pergunta-se de *que é o ambiente?* Logo responde-se no sentido de que em forma habitual nos referimos ao ambiente, ao meio, ou ao meio. Continua a indicar que o ambiente natural é composto por componentes não biológicas (*ar, água, terra*) e componentes biológicas (*plantas, animais, organismos mortos*). O homem não só é dependente dos meios vivos, mas da totalidade da Terra, e depende da conservação do meio natural e da interacção entre os organismos vivos (*incluído o homem*) e os componentes físico-químicos do planeta Terra. As componentes físico-químicas (inertes) e as biológicas (vivos) são os factores ambientais que podem ser modificados pelas actividades realizadas pelo próprio homem.

Gómez Orea, D.(1988), define o ambiente ou meio ambiente como o meio vital, ou conjunto de factores físico – naturais, sociais, culturais, económicos e estéticos que interagem entre si, com o indivíduo e a comunidade em que vive, determinando a sua forma, carácter e sobrevivência. Não se deve considerar como o meio envolvente do homem, mas como algo indissociável dele, da sua organização e seu progresso.

Os factores ambientais são as componentes do ambiente onde se desenvolve a vida no planeta Terra, sendo o suporte de toda actividade humana. Estes factores são susceptíveis de serem modificados pelo homem que, num nível determinado, podem ocasionar problemas graves de forma imediata, mediana ou de longo prazo. Estes factores são:

- O homem, flora e fauna;
- O solo, água, clima e paisagem;

- Bens naturais e património cultural.

Conesa, V., (1992) define *impacte ambiental* quando uma acção ou actividade produz uma alteração no meio ou em alguma componente ou sub componente. Esta acção pode ser um projecto de engenharia, um programa, um plano, uma lei ou uma disposição administrativa com implicações ambientais. Quando um impacte ambiental é negativo produz uma degradação ambiental podendo comprometer em risco da vida humana, pelo que é necessário tomar medidas de prevenção ou mitigação correspondentes.

De forma similar, o ambiente subterrâneo, é o meio com componentes ambientais não biológicas (*ar, água e rocha*) e biológicas (*vírus, bactérias, incluído o próprio homem*) (fig. 2.6).

A atmosfera subterrânea está composta pelo *ar* proveniente do ar do ambiente global, encaminhado seja por meio natural ou artificial. A hidrosfera subterrânea está representada pelas *águas subterrâneas* e a litosfera pela rocha e no caso de aberturas próximas à superfície por *solos e/ou rochas*.

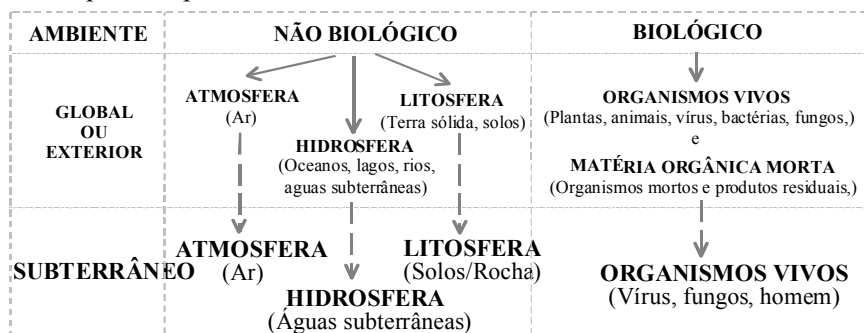


Figura 2.6 – Componentes do ambiente global e do ambiente subterrâneo

A componente biológica está conformada principalmente pelo *homem*, mas também por vírus, bactérias e fungos que podem ser resultado da decomposição da madeira utilizada no suporte.

O ambiente subterrâneo constitui parte do ambiente global ou exterior, não sendo isolado ou independente do ecossistema (fig. 2.7).

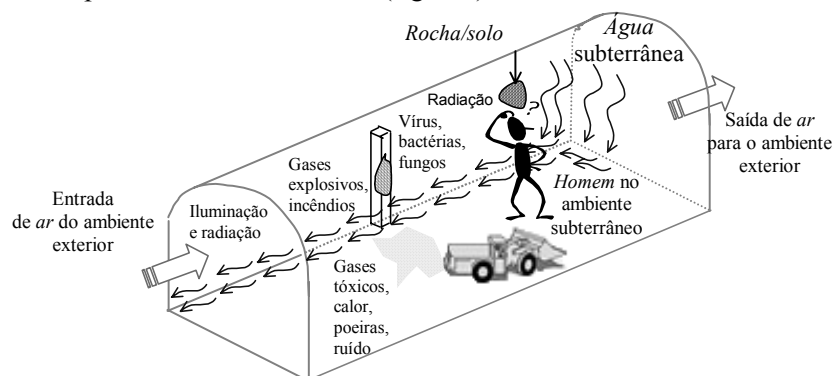


Figura 2.7 – Ambiente subterrâneo como parte do ambiente global ou exterior

De forma similar ao que acontece no ambiente exterior, entre as componentes do ambiente subterrâneo existe uma interação e relação, assim, qualquer alteração das condições naturais destes componentes causam impactes ambientais podendo pôr em risco a vida humana (fig. 2.8).

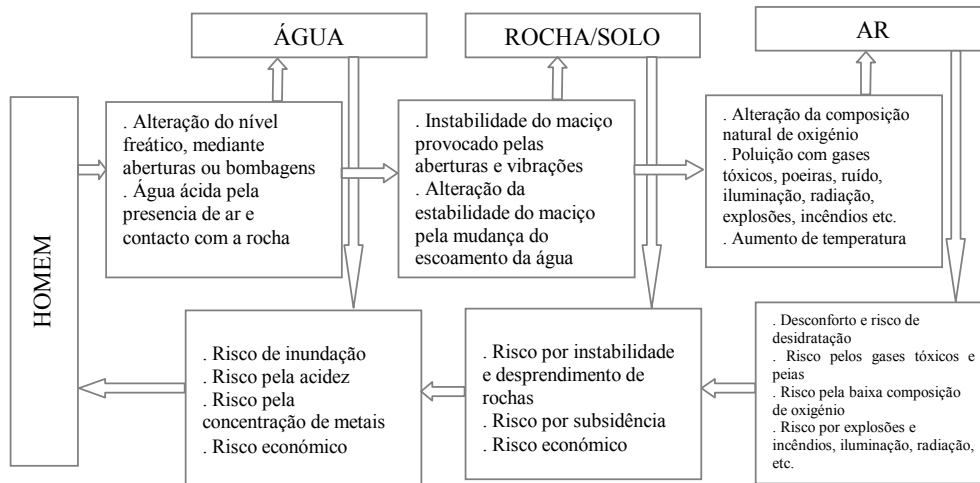


Figura 2.8 – Interação entre os componentes físico-químicos e o homem no ambiente subterrâneo

Em semelhança às definições do ambiente revistas, *ambiente subterrâneo* pode-se conceituar como o meio subterrâneo onde acontece a interação dos quatro domínios ambientais que são: atmosfera subterrânea, água subterrânea, rocha e as componentes biológicas (principalmente o homem). No âmbito subterrâneo, também, o homem é a componente biológica mais importante e a sua acção ocasiona efeitos ambientais negativos directos ou indirectos, imediata, mediana e longo prazo, provocando impactes no meio subterrâneo (vida humana) e exterior (subsidência, escombros, água ácida).

De igual forma o Sistema de Gestão Ambiental Subterrâneo (SGAS) pode-se definir, como o conjunto de acções, de toda a estrutura organizacional da empresa, encaminhadas a prevenir ou minimizar os efeitos não desejados sobre o ambiente, ocasionados pelas actividades de exploração subterrânea que realiza o homem.

2.2.2. Hipótese para o desenvolvimento da engenharia ambiental subterrânea

Com os fundamentos e análise comparativa e visando desenvolver a engenharia ambiental subterrânea, formula-se o axioma ou hipótese seguinte:

Sendo o ambiente subterrâneo parte do ambiente exterior (global), neste âmbito também existe uma natural interrelação e interação dos quatro domínios do ambiente (atmosfera subterrânea, água subterrânea, maciço rochosos e a componente biológica – homem), os que, pela presença e acção do próprio homem, são alterados as suas condições naturais, traduzem-se em impacte ou risco ambiental, por conseguinte, reverte

uma grande importância desenvolver uma Engenharia Ambiental Subterrânea (EAS), considerando a interacção integrada destes componentes e com abordagens contemporâneas.

2.2.3. Justificativas do trabalho de investigação

A Engenharia Ambiental Subterrânea (EAS) a desenvolver permitirá uma abordagem global e bem consistente da gestão do ambiente subterrâneo, para uma adequada protecção ambiental, face às alterações provocadas pelas actividades de exploração dos recursos naturais (minerais) do subsolo.

O desenvolvimento da EAS é plenamente justificada, pelo facto de que a acção humana no subsolo provoca uma alteração dos componentes do meio do ambiente natural criando riscos que afectam o meio e a vida humana, reflectido-se nos frequentes acidentes mortais que ocorrem nas minas subterrâneas do mundo, como mostra a fig. 2.9, as estatísticas de acidentes mortais em minas subterrâneas dos E.U.A. e a fig. 2.10 em minas peruanas.

A Tabela 2.3 apresenta a relação entre os acidentes fatais e a quantidade de trabalhadores mineiros, elaborado com base na média de trabalhadores mineiros da mineração subterrânea e na média de acidentes fatais nos últimos 10 anos (1990-2000), das estatísticas de MSHA de E.U.A. www.msha.gov, 2001, *Sociedad Nacional de Minería, Energía e Petróleo do Peru*, www.snmp.org.pe, 2001 e revista *Água & Ambiente* n.º 20 – Ano 2, Especial indústria extractiva (Portugal 2001).

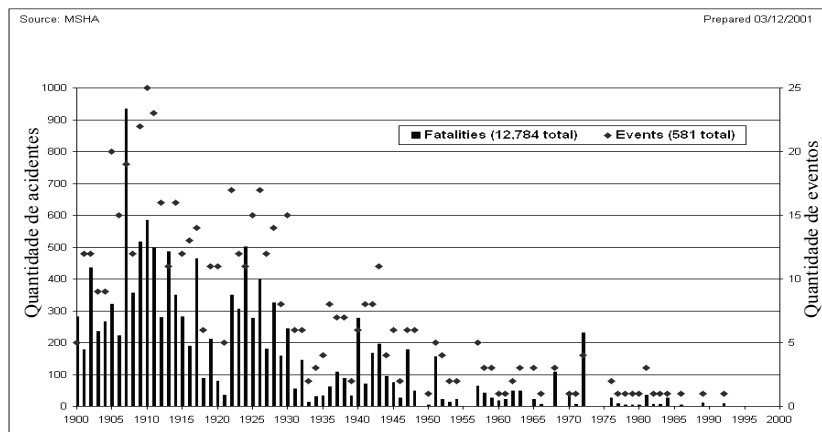


Figura 2.9 – Perda de vidas humanas em minas subterrâneas dos E.U.A. de 1900 a 2000 (Mine Safety, Health and Administration MSHA E.U.A. www.msha.gov)

Além das mortes, a contaminação da atmosfera subterrânea causa afecção de doenças ocupacionais (cancro dos pulmões pelo efeito da emissão dos equipamentos com motor diesel e radiações, silicose e doenças similares, surdez pelo ruído, desconforto pelas altas temperaturas, explosões e incêndios), as águas subterrâneas e drenagem ácida provocam inundações, afecções da biodiversidade e o ecossistema e a instabilidade do maciço rochoso ocasiona acidentes com inabilitação física, psíquica e corporal.

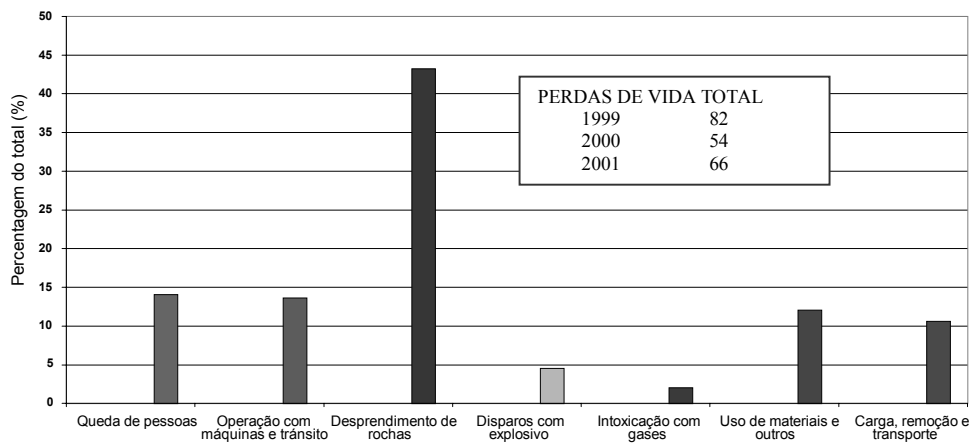


Figura 2.10 – Perda de vidas humanas em minas subterrâneas do Peru (baseado em estatísticas dos anos 1999, 2000 e 2001 do Ministério de Energia e Minas do Peru, disponível em http://www.mem.gob.pe/wmem/publica/dgm/indice_1999.htm)

Tabela 2.3 – Relação de acidentes fatais com base na média de trabalhadores da mineração subterrânea e média de acidentes fatais

Pais	Quantidade média de trabalhadores mineiros	Quantidade média acidentes fatais	Relação de acidente fatal/trabalhadores mineiros
E.U.A.	229471	51	1/4499
Portugal	713	0.4	1/1783
Peru	48000	85	1/565

Estes problemas do ambiente subterrâneo são tradicionalmente são abordados mundialmente mediante procedimentos, técnicas e sistemas de gestão de Segurança e Higiene, mas não como um aspecto ambiental. Portanto, uma abordagem ambiental, proporcionaria ferramentas técnicas e sistemas de gestão *viáveis* para um aproveitamento dos recursos naturais do subsolo em harmonia com natureza e o ambiente.

2.3. Ambiente, Saúde e Segurança

2.3.1. Conceitos do ambiente, saúde e segurança

Em relação ao termo *ambiente*, no novo dicionário da língua Portuguesa Aurélio (http://www.redeambiente.org.br/Opinia.asp?_artigo=62) encontra-se as definições seguintes:

- Ambiente, o conjunto de condições naturais e de influências que actuam sobre os organismos vivos e os seres humanos.
- Meio, é o lugar onde se vive, com suas características e condicionamentos geofísicos; ambiente; esfera social ou profissional (onde se vive ou trabalha).

Isso quer dizer que, tudo o que fazemos ou deixamos de fazer no dia a dia tem reflexos ínfimos ou gigantescos no ambiente. Assim, é extremamente necessária uma

consciência ambiental em todos os ramos da sociedade, para o nosso bem-estar e de todas as gerações (princípios do desenvolvimento sustentável e Agenda 21).

Em relação ao termo *saúde* o dicionário da língua Portuguesa da Porto Editora (<http://www.portoeditora.pt/dol/default.asp?param=08010100>) dá a seguinte definição: *saúde*, estado do que é são; ausência de doença; estado normal dos órgãos; vigor; robustez.

Mas, diferentemente da doença, que em geral é tangível, reconhecível e facilmente identificável, a *saúde* é uma condição difícil de definir. Uma pessoa pode ser forte, resistente a infecções, apta a enfrentar o desgaste físico e outras pressões da vida quotidiana, mas ainda assim ser considerada doente se o seu estado mental for julgado frágil.

O conceito de *saúde* envolve mais do que o condicionamento físico, implicando também o bem-estar mental e emocional. Uma pessoa revoltada, frustrada, emocionalmente instável, mas em excelente condição física não pode ser considerada saudável, porque não está em perfeita harmonia com seu ambiente. Um indivíduo nesse estado é incapaz de emitir juízos correctos e de ter reacções racionais.

Uma definição mais exacta de *saúde* pode ser, portanto, a capacidade que o organismo apresenta de funcionar em completa harmonia com seu ambiente, o que envolve a aptidão para enfrentar física, emocional e mentalmente as tensões quotidianas. De acordo com essa definição, a *saúde* é interpretada em função do ambiente individual.

Em resumo, *saúde* pode ser definida como a capacidade física, emocional, mental e social que o indivíduo tem de interagir em completa harmonia com seu ambiente.

Finalmente, em relação ao termo *segurança* a melhor definição pode ser obtida através do dicionário Aurélio (<http://www.scua.net/seguranca/conceitos/seguranca.htm>) conforme descrito a seguir:

Segurança é o estado, qualidade ou condição de seguro; condição daquele ou daquilo em que se pode confiar e finalmente é a certeza, firmeza, convicção.

Seguro provem do latim *securu*, que significa livre de perigo; livre de risco; protegido, acautelado, garantido; em quem se pode confiar; certo, indubitável, incontestável e eficaz, eficiente.

2.3.2. Ligação entre ambiente, saúde e segurança

O *ambiente, saúde e segurança* têm uma interrelação no sistema produtivo da indústria mineira e nomeadamente dentro da actividade da exploração de minas, que é denominada EHS pela sua denominação em idioma inglês *Environmental, Health and Safety*. Pode-se afirmar que uma boa qualidade ambiental pode implicar uma boa saúde humana e vice-versa, de igual forma uma boa segurança será reflectida em poucos acidentes e como consequência boa saúde ocupacional e vice-versa, finalmente as acções com segurança podem permitir melhorar o ambiente e vice-versa. A relação entre a segurança e o ambiente está em que uma boa segurança influi na boa qualidade ambiental (fig. 2.11).

Portanto numa actividade industrial mineira e nomeadamente uma mina subterrânea, ao pôr em prática um sistema de gestão integrado do ambiente, saúde e segurança permitiria conseguir otimizar a conservação da qualidade ambiental, da saúde e segurança ocupacional do pessoal participante nas actividades da indústria.

As empresas mineiras tem a obrigação de cumprir com todas as leis, normas e regulamentos ambientais aplicáveis, devendo promover a consciência, interesse e a instrução ou capacitação ambientais entre seus empregados e a comunidade na que opera.

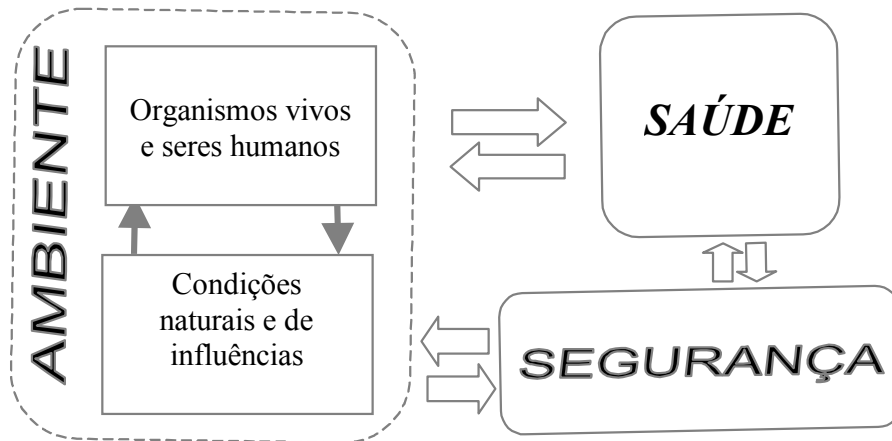


Figura 2.11 – Relação entre ambiente, saúde e segurança (EHS)

As empresas mineiras devem igualmente proteger a saúde e segurança ocupacional de seus empregados, e farão exame de todas as etapas para eliminar ou reduzir a exposição do pessoal às circunstâncias que afectem adversamente sua segurança e/ou saúde quando no trabalho, incentivando a consciência, interesse e capacitação do pessoal dentro e fora do ambiente operacional.

2.4. Situação Actual da Engenharia Ambiental Subterrânea

Na actualidade, o problema da engenharia ambiental subterrânea vem sendo abordado do ponto de vista de segurança e higiene dos trabalhadores, sem considerar o conceito ambiental.

Além de se tratar o ambiente de mina como um assunto de segurança e higiene ocupacional, é considerado simplesmente como a interacção das componentes físico-químicas ou inertes (poeiras, temperatura, vibração, humidade, gases tóxicos, iluminação, ruído) existentes na atmosfera subterrânea ou no ar.

Observa-se também, no esquema, que não é considerada a velocidade e caudal do ar; isto é devido a que estes aspectos são tratados em forma isolada e como um aspecto relacionado à ventilação de minas (fig. 2.12).



Figura 2.12 – Segurança e saúde no ambiente de operação de minas (Mutmansky, J.M., et al., 1992)

O ambiente subterrâneo conceituado dessa forma não considera a interação das outras componentes do ambiente subterrâneo, que são a *água* e a *rocha* (fig. 2.13).

A EAS deve considerar a interação das três componentes ambientais (ar, água, rocha) que interagem entre si e fundamentalmente com a componente biológica ou *viva* que neste caso é principalmente a acção do homem.

Na exploração de minas subterrâneas e em geral em escavações subterrâneas (túneis, câmaras para armazenamento de certos materiais, etc.) a presença da água e a instabilidade das rochas constituem um grande problema e preocupação histórica do homem, mas são abordados numa óptica isolada e também dentro dum conceito de segurança e saúde.

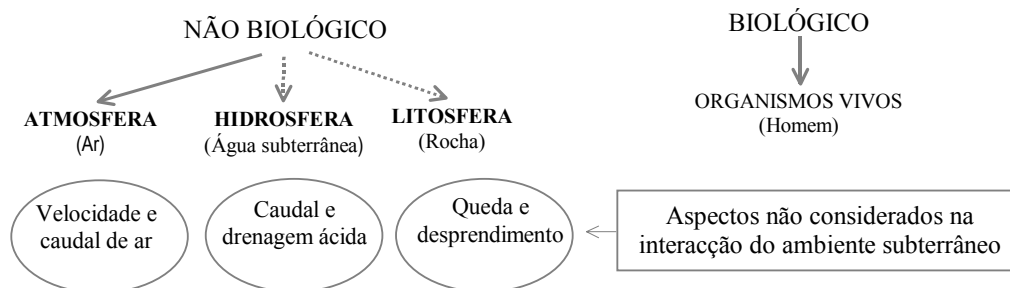


Figura 2.13 – Componentes considerados e não considerados no conceito actual do ambiente subterrâneo

Uma forma de expressar as afecções humanas é mediante os índices de frequência, de severidade e em alguns casos mediante o índice de acidentabilidade dados por:

$$IF = 200000NAP/THH \qquad IS = 200000NDPA/THH$$

onde, *IF* é o índice de frequência, *NAP* é o número de acidentes que ocasionam perdas de horas de trabalho, *THH* é o total horas homem trabalhados, *IS* é o índice de severidade, *NDPA* é o número de dias de trabalho perdidos por acidentes.

Os índices de acidentes de trabalho referidos relacionam fundamentalmente a segurança e saúde do trabalhador mineiro; mas as horas perdidas para de acidentes fatais, incapacitantes ou leves são contabilizadas tendo em consideração todo tipo de situações de insegurança, que são diferenciados basicamente como actos inseguros e condições inseguras.

Finalmente a forma de como é abordado o ambiente subterrâneo reflecte-se também pelas normas legais existentes como o Decreto-lei nº 162/90 de 22 de Maio de 1990 em Portugal e Decreto Legislativo Nro. 708 – 709 de 06 de Novembro de 1991 e Decreto supremo Nro.023-92-EM (*Reglamento de Seguridad e Higiene Minera*) no Peru.

Portanto, o conceito actual da engenharia ambiental subterrânea, não tem os fundamentos, bases e tratamentos das correntes modernas da engenharia ambiental em geral, apesar de constituir parte do ambiente ou meio ambiente normalmente concebido.

2.5. Proposta da Engenharia Ambiental Subterrânea

A proposta da Engenharia Ambiental Subterrânea (EAS) é baseada no processo da gestão ambiental do ambiente exterior, com particularidades próprias do meio subterrâneo, de modo que a exploração dos recursos naturais do subsolo (minerais) se realize com um plano de protecção ambiental e condições de qualidade do ambiente consoante aos padrões existentes.

Esta proposta da EAS é para situações de ambiente subterrâneo em minas com operação (fig. 2.14) e para situações de projectos novos (fig. 11.2).

O digrama da fig. 2.14 ilustra o sistema e sequência de acções da Engenharia Ambiental Subterrânea para uma mina em operação que, em termos gerais, compreende as seguintes acções:

- Definição do âmbito de acção;
- Caracterização da situação do ambiente;
- Identificação dos níveis de impacte ambiental;
- Medida correctiva a aplicar;
- Monitorização e controle.

2.5.1. A definição do âmbito de acção

É a acção referida à localização geográfica, características principais do maciço rochoso (solo) e do jazigo mineral, ambiente subterrâneo relacionado a toda a infra-estrutura existente como são os trabalhos de desenvolvimento e traçagem (poços,

chaminés, galerias, rampas, câmaras para extracção, para bombagem, para britagem, para manutenção, etc.), preparação e frentes de exploração (desmontes) que variam em função do método de exploração.

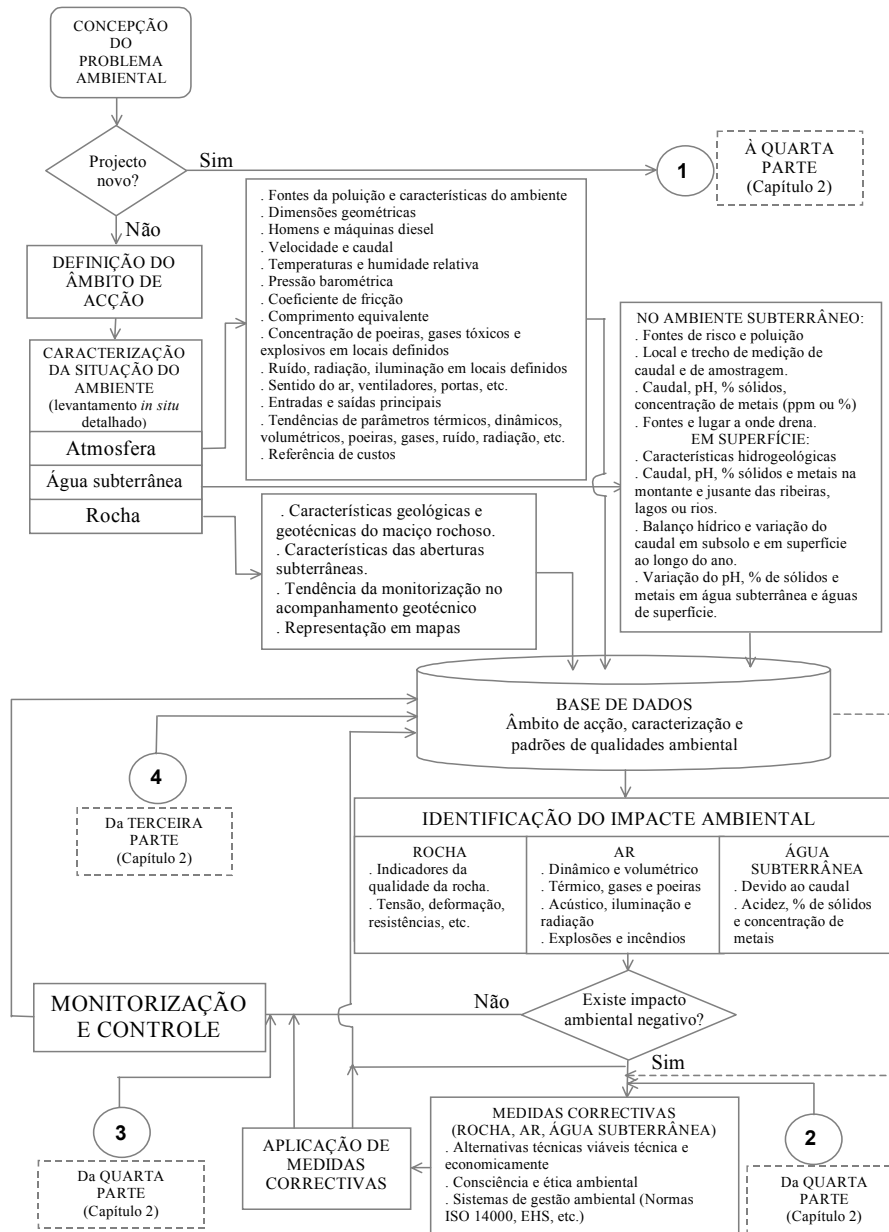


Figura 2.14 – Metodologia da Engenharia Ambiental Subterrânea EAS para minas em operação que integra a figura 11.2

2.5.2. Caracterização da situação do ambiente

Consiste num levantamento detalhado e minucioso de todas as informações que permitam caracterizar o ambiente. A investigação sobre processos de protecção e estudo de detalhe é usado para recolher a informação necessária, para seleccionar um processo de protecção ambiental ou medida correctiva que se encontre dentro das exigências das normas e leis do programa.

A investigação sobre processos de protecção inclui a amostragem e análise para caracterizar a natureza e extensão da contaminação; avaliação de riscos futuros actuais e potenciais em relação a saúde humana e o ambiente; este estudo é apropriado, para avaliar a eficácia de tecnologias do tratamento ou da recuperação para reduzir a toxicidade, a mobilidade ou o volume de substâncias perigosas ou contaminadas.

Caracterização da atmosfera subterrânea relacionado a: dimensões geométricas, características físicas, circuitos de ar (mapa adequado) indicando-se entradas e saídas principais, sentido do ar, velocidade e caudal de ar, ventiladores, portas e cortinas de ventilação, temperaturas e humidade relativa, pressão barométrica, coeficiente de fricção, comprimento equivalente, concentração de poeiras, gases tóxicos e explosivos, ruído, radiação, iluminação, homens e máquinas com motor diesel. É importante determinar as tendências de parâmetros térmicos, dinâmicos, volumétricos, poeiras, gases, ruído, radiação, etc., e considerar referência de custos.

Caracterização da água subterrânea, que deve considerar: local de medição de caudal e de amostragem de água, trechos do escoamento, caudal, pH, % sólidos, concentração de metais (ppm ou %), fontes e lugar onde escoam, representação em mapa adequado, características hidrogeológicas da zona, pH, % sólidos e metais no montante e jusante das ribeiras, lagos ou rios, balanço hídrico e mapa de correlação, tendência do caudal em subsolo e superfície, tendência do pH, % sólidos e metais em água subterrânea e águas de superfície.

Características geotécnicas do maciço rochoso circundante, características geométricas das aberturas subterrâneas, tendência da monitorização no acompanhamento geotécnico, representação em mapas, entre outros.

2.5.3. Identificação dos níveis do impacte ambiental

É baseada nos padrões de qualidade ambiental definidos pelas normas de cada região ou país ou por instituições reconhecidas a nível internacional e nacional. No caso de padrões de qualidade ambiental de maciços rochosos, também será necessário considerar os resultados de parâmetros experimentais que tenham uma fiabilidade conseguida através de medições reiteradas e estudos.

Estes índices e padrões permitem elaborar uma matriz base de níveis de impacte ambiental que, no estudo se consideram três a níveis: *leve*, *moderado* e *alto*. Esta matriz de base serve para a identificação do impacte ambiental negativo e expressa o nível correspondente utilizando o âmbito de acção definido e a caracterização do ambiente subterrâneo.

A situação do problema ambiental identificado em respectivos níveis é recomendável apresentar numa matriz e mapa de impactes ambientais.

2.5.4. Medidas correctivas

A procura de medidas correctivas consiste em duas etapas principais: 1) Desenvolvimento de alternativas de medidas correctivas e 2) Selecção da alternativa mais viável, que passa por uma análise detalhada.

Uma escala de alternativas de acção correctiva é desenvolvida durante o estudo com os dados disponíveis da caracterização do local, isto ajuda reduzir as incertezas relacionadas com os custos e o desempenho de alternativas do tratamento.

Durante a selecção do processo de protecção ambiental, identifica-se uma alternativa preferida, apresentada num plano proposta a documentar para a opinião pública.

Planos, especificações e outros documentos necessários para construir ou para executar a alternativa são tomados durante o projecto de detalhe da medida correctiva

Nesta etapa podem utilizar-se procedimentos técnicos, modelos matemáticos e computacionais (simulação).

A alternativa mais viável desde o ponto de vista técnico e económico deve ser aplicada.

2.5.5. Monitorização e controle

Consiste em estabelecer um seguimento que verifique a efectividade e eficácia da medida correctiva adoptada.

Desta forma poderão detectar-se alterações não previstas e possíveis mudanças. Além da actualização constante do mapa de riscos ou impactes que permitam tomar medidas oportunas e cumprir o plano original aprovado pela autoridade competente ou situar dentro de padrões estabelecidos, como por exemplo a ISO 14000.

2.6. Minas Subterrâneas para a Aplicação do Estudo

Para o estudo de casos foram consideradas três minas em operação actual: as minas de cobre e estanho de Neves Corvo da Sociedade Mineira de Neves Corvo S. A., as minas de volfrâmio da Panasqueira da Beralt & Tin Wolfram S. A. e a mina de estanho de San Rafael de MINSUR S. A.

As primeiras duas minas estão localizadas em Portugal e a última no Peru. Os estudos de investigação práticos nestas minas servem quer para a validação de modelos matemáticos e procedimentos desenvolvidos, quer para a aplicação da engenharia ambiental subterrânea.

A mina de Neves Corvo, localizada na zona do Alentejo, oferece condições interessantes para o estudo, devido a sua localização numa altitude próximo os 200 m, a geologia e pelo facto de produzir entre 6000 a 6500 t/dia de minério tal-qual, utilizando métodos de exploração com um alto nível de mecanização e como consequência aberturas subterrâneas de grandes dimensões, equipamentos com motor diesel e de grandes

capacidades, além de que as frentes de exploração estão localizadas em profundidades próximas a 700 metros, onde a temperatura da rocha virgem já se torna alta e seu sistema de ventilação é 100% forçado. Estes aspectos, genericamente referidos, tornam esta mina propícia para a parte experimental do estudo.

A mina da Panasqueira, localizada na parte montanhosa de Portugal, a uma cota aproximada de 750 m acima do nível do mar, também, oferece condições interessantes para a parte experimental do estudo, porque é uma mina medianamente mecanizada, com produção próxima das 2000 t/dia de minério tal-qual, com aberturas subterrâneas de medianas dimensões localizadas a pouca profundidade (150 m) escavadas principalmente em xisto, com sistema de ventilação mista (natural e forçada), utilização de equipamentos diesel e água subterrânea de caudal considerável que é descarregada numa ribeira em superfície.

A mina de estanho de San Rafael, pelo facto de estar localizada nos Andes do Peru a uma altitude de uns 5000 m, ter uma profundidade próxima a um quilómetro, ser uma mina mecanizada que utiliza equipamentos diesel de grande capacidade, ocorrer em rocha vulcânica, e existir água termal nas partes profundas da mina.

SEGUNDA PARTE

GESTÃO AO AMBIENTE SUBTERRÂNEO

Capítulo 3

CONTAMINAÇÃO DA ATMOSFERA SUBTERRÂNEA

3.1. Temperatura

3.1.1. Efeitos fisiológicos sobre o homem

O metabolismo humano é acompanhado pela geração de calor, com o que a temperatura do organismo se mantém próximo a 36.9 °C, e em contacto com a temperatura do ar circundante o homem poderá sentir sensação de frio ou calor e os efeitos fisiológicos de baixas e altas temperaturas.

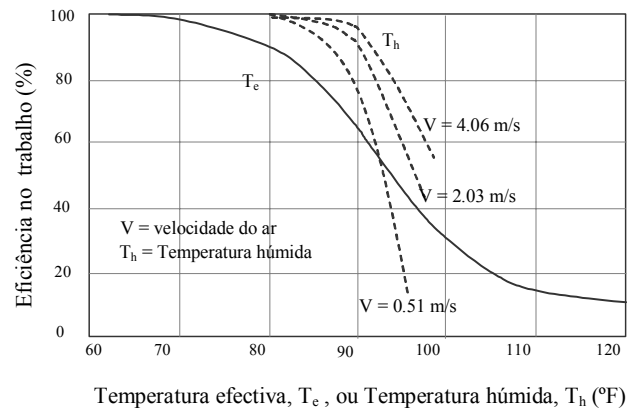


Figura 3.1 – Efeito da temperatura sobre o rendimento do homem (Hartman H.L., et al., 1982)

Quando uma pessoa é exposta a uma temperatura superior à de *conforto*, esta sofre os efeitos fisiológicos expressos da seguinte forma: Perda de interesse nas actividades que realiza, frequentes descansos ou folgas, desejo de concluir a actividade rapidamente, irritabilidade, redução do grau de concentração, falta de sentido e de atenção e até a morte.

A exposição prolongada do homem em condições térmicas desfavoráveis conduz inevitavelmente ao aumento da temperatura no organismo e como consequência produz efeitos fisiológicos que reduzem seu rendimento (fig. 3.1) e até provocam a morte, com temperaturas superiores a 42 °C e em tempo prolongado.

3.1.2. Fontes e caracterização da temperatura no ambiente subterrâneo

O ar atmosférico que entra ao ambiente subterrâneo aumenta gradualmente a sua temperatura, quando aumenta a profundidade do local por onde escoar (fig. 3.2) e a causa principal é a transferência do calor da rocha virgem, devido ao conhecido grau geotérmico. Outras fontes do aquecimento do ar na atmosfera subterrânea são provocadas pela *autocompressão*, pela operação de equipamentos com motor diesel, pela detonação de cargas explosivas, pela presença de água termal e pelo metabolismo humano.

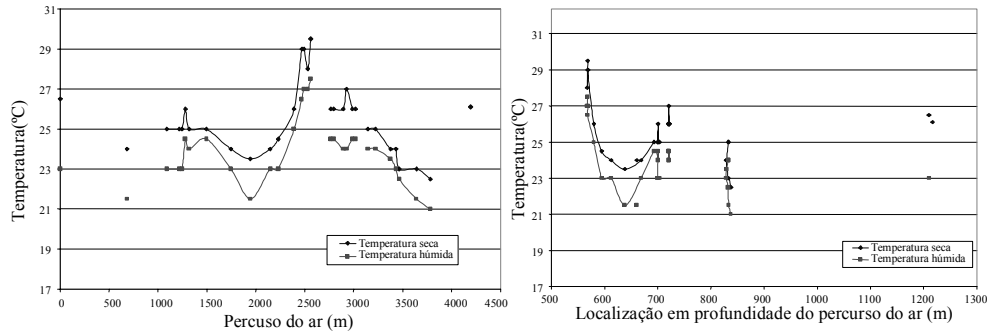


Figura 3.2 – Variação da temperatura do ar no ambiente subterrâneo da mina de Neves Corvo, que entra pelo poço de Santa Bárbara e sai pelo poço CPV2 (baseado em medições realizadas no mês de Julho de 2000)

3.1.2 1. Temperatura de autocompressão

É um processo que acontece durante a descida do ar pelas aberturas subterrâneas e devido a sua própria compressão. O enunciado matemático é deduzido considerando a condição de equilíbrio e propriedades do ar e é influenciada pelas forças verticais (fig. 3.3) expressa como:

$g \cdot dh = dp/\rho$; $dh = dp/\gamma = vdp$, $pvk = \text{constante}$ no processo adiabático, diferenciando a equação de Claperon: $p v = R t$ obtém-se $p dv + v dp = R dt$, de onde resulta: $p dv = R dt - v dp$, com este resultado tem-se: $dh + k(R dt + k dh) = 0$, e integrando consegue-se obter:

$$(1-k) \int dh + kR \int dt = (1-k)h + kRt + C = 0, \text{ de onde: } t = h \left\{ \frac{k-1}{kR} \right\} - C.$$

A constante de integração C , determina-se com a condição $h = 0$ e $t = t_0$, portanto $C = - t_0$

Com estes valores, a equação transforma-se em:

$$t = t_0 + h \left\{ \frac{k-1}{kR} \right\}, \text{ mas como } R = 29.27,$$

$$k = 1.302 \text{ (valor médio)}$$

$h = L \text{ sen} \alpha$, (fig. 2.3) resulta finalmente:

$$t_2 = t_1 + 0.0098 \cdot L \cdot \text{sen} \alpha, \text{ logo:}$$

$$\Delta t_{ha} = 0.0098 \cdot L \cdot \text{sen} \alpha$$

(3.1)

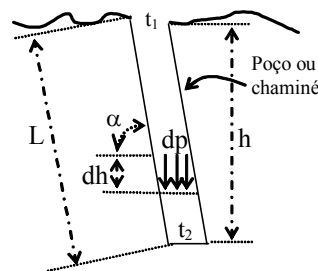


Figura 3.3 – Esquema de autocompressão

Quando $h = 1.0$ m de profundidade o acréscimo da temperatura para este metro é de 0.0098 °C, ou seja *por cada 100 m de profundidade a temperatura do ar aumenta em 0.98 °C que aproximadamente é 1 °C.*

No processo da análise matemática realizada, g é aceleração da força da gravidade (m/s), h é a altura ou profundidade (m), L é o comprimento do poço ou chaminé, α é a inclinação do poço ou chaminé, p é a pressão (kg/cm²), $\rho = \gamma/g$ é a massa volúmica do ar (Kg.s²/m⁴), v é o volume específico (m³/kg), R é a constante dos gases perfeitos, k é o índice adiabático dos gases, t é a temperatura do ar, t_1 é a temperatura do ar à superfície (°C), t_2 é a temperatura de ar à profundidade h (°C) e Δt_{ha} é o acréscimo de temperatura por *autocompressão* (°C).

Este acréscimo da temperatura é muito mais notório em poços verticais que em aberturas inclinadas ou rampas e obviamente que em aberturas horizontais é nulo.

3.1.2.2. *Transferência de calor do maciço rochoso ao ambiente subterrâneo*

Na capa superficial de 15 m (Hartman, H.L. *et al.*, 1982), de 20 m (Vutukuri, V.S. *et al.*, 1986) e de 20 a 40 m (Novitsky, A., 1962) de profundidade, a temperatura do maciço rochoso varia ao longo do ano e em relação à mudança da temperatura do ar superficial (fig. 3.4). Depois desta capa neutral térmica a temperatura do maciço rochoso aumenta gradualmente consoante o aumento da profundidade; a esta propriedade denomina-se *grau geotérmico* (Tabela 3.1).

Para calcular o grau geotérmico Vutukuri, V.S. (1986) propõe a equação (3.2), onde g_g é o grau geotérmico (°C/m), f_c o fluxo de calor do maciço rochoso que é aproximadamente 0.05 W/m² e c_r a condutividade térmica do maciço rochoso (W/m.°C).

$$g_g = \frac{f_c}{c_r} \quad (3.2)$$

Tabela 3.1 – Valores típicos do grau geotérmico (baseado em Vutukuri, V.S., 1986; Hartman, H.L., 1982 e *Mine Ventilation Service, Inc.* E.U.A., 2000)

Lugar	g_g (°C/100m)	Tipo de rocha	g_g (°C/100m)
Magma Copper, Arizona	3.8	Jazigo de cobre, Montana	4.6 – 6.0
Coal mines, United Kingdom	1.8 – 4.0	Jazigo de cobre, Arizona	4.5
Agnew Nickel, Australia	1.3	Jazigos carboníferos	2.0 – 4.5
Kolst gold, India	1.1	Argila	3.3
Witwatersrand, South Africa	0.7 – 1.3	Calcário	1.8
Broken Hill, NSW, Australia	1.97	Arenito	1.7 – 3.3
Ontario, Canada	1.22	Dolerito	3.0
Hungary	5.0	Quartzito	0.8 – 1.5
UK and Europe	1.0 – 3.0	Silvite	0.8 – 1.7
E.U.A.	0.91–3.65	Halite	1.0 – 4.0

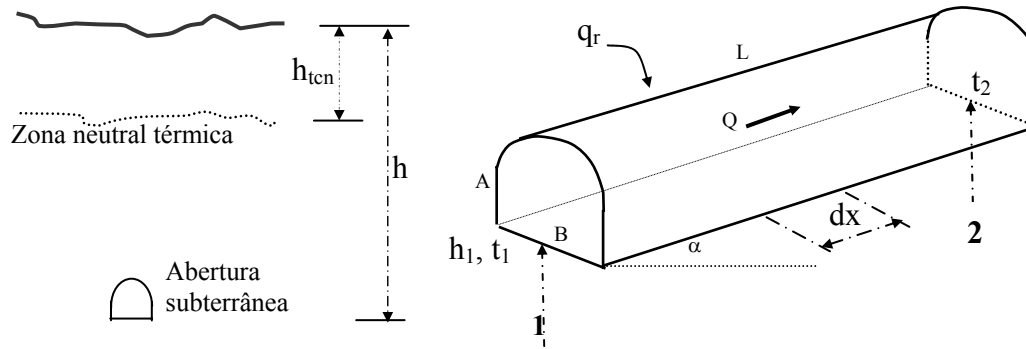


Figura 3.4 – Capa de rocha com influência de temperatura exterior e abertura subterrânea elementar

Com o grau geotérmico g_g ($m/^\circ C$), com a temperatura da capa rochosa até a zona neutra térmica t_{cn} ($^\circ C$), com a profundidade desde a superfície até a zona neutra térmica h_{tcn} (m) a temperatura do maciço rochoso a uma determinada profundidade h denominada t_{hr} ($^\circ C$), é dada por

$$t_{hr} = t_{cn} + (h - h_{tcn})/g_g$$

Com esta equação e denotação de parâmetros na fig. 3.4 deduz-se a equação (3.3) que expressa o acréscimo da temperatura devido ao grau geotérmico Δt_{gg} ($^\circ C$), onde h_1 é a profundidade do nó inicial do trecho medida desde a superfície (m), L o comprimento da abertura subterrânea (m), α a inclinação do trecho ($^\circ$, $+\alpha$ quando o declive é descendente e $-\alpha$ quando é ascendente).

$$\Delta t_{gg} = \frac{h_1 - h_{tcn} \pm L \cdot \text{sen} \alpha}{g_g} \quad (3.3)$$

Aplicando às aberturas subterrâneas os fundamentos da transferência de calor no escoamento dos gases em tubos, sabe-se que o calor propaga-se dum ponto a outro por três modos distintos: condução; radiação e convecção. Na maior parte das vezes, estes três processos têm lugar simultaneamente (Holman, J.P., 1983), portanto a quantidade de calor q a fornecer a um corpo de massa m e calor específico C_e para que a sua temperatura se eleve de t_1 a t_2 é dada por

$$q = m \cdot C_e \cdot (t_2 - t_1) = m \cdot C_e \cdot \Delta t$$

Aplicada esta expressão ao caudal de ar Q (m^3/s) o calor recebido do maciço rochoso q_r (W) resulta a equação 3.4

$$q_r = 1000 \cdot \rho_a \cdot C_e \cdot Q \cdot \Delta t_r = 1000 \cdot \rho_a \cdot C_e \cdot Q \cdot (t_2 - t_1) \quad (3.4)$$

onde ρ_a é a massa volúmica do ar (kg/m^3), C_e é o calor específico do ar ($Kj/m \cdot ^\circ C$) e Δt_r é a variação da temperatura de t_1 a t_2 .

O calor do maciço rochoso dq recebido pelo ar do ambiente subterrâneo pode ser dado também em termos de coeficiente de transferência de calor do maciço rochoso ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) (Holman, J.P., 1983) mediante a equação diferencial

$$dq = \lambda.P.dx.(T_p - T_m)$$

onde T_p e T_m são as temperaturas de parede e de mistura de ar na posição particular dx (°C) e P é o perímetro da abertura subterrânea (m).

De forma similar o calor total q_r transferido (W) pode ser expressa mediante a equação (3.5).

$$q_r = \lambda.P.L.(T_p - T_m)_{média} \quad (3.5)$$

Atendendo à equação (3.3) e a nomenclatura da fig. 3.4 têm-se $T_p = \{t_1 + [t_1 + (h_1 - h_{tcn} \pm L \text{sen} \alpha)/g_g]\}/2$ e $T_m = (t_1 + t_2)/2$ as que substituídas nas equações (3.4) e 3.5) e igualando resulta a relação seguinte:

$$[(\lambda.P.L)/2][(h_1 - h_{tcn} \pm L \text{sen} \alpha)/g_g + t_1 - t_2] = 1000.\rho_a.C_e.Q.(t_2 - t_1)$$

Finalmente a variação da temperatura do ar que escoa nas aberturas subterrâneas por causa do grau geotérmico Δt_r (°C) resulta a equação (3.6).

$$\Delta t_r = t_2 - t_1 = \frac{\lambda.P.L.(h_1 - h_{tcn} \pm L \text{sen} \alpha)}{g_g (\lambda.P.L + 2000.\rho_a.C_e.Q)} \quad (3.6)$$

Para chaminés ou poços (fig. 3.5), a profundidade inicial (h_1) é zero e o trecho que recebe influência do grau geotérmico é $L \text{sen} \alpha - h_{tcn}$ com $\alpha +$, pelo que para estes casos resulta a equação (3.7).

$$\Delta t_r = t_2 - t_1 = \frac{\lambda.P.(L \text{sen} \alpha - h_{tcn})^2}{g_g [\lambda.P.(L \text{sen} \alpha - h_{tcn}) + 2000.\rho_a.C_e.Q]} \quad (3.7)$$

O coeficiente de transferência de calor λ é dado pela equação (3.8) em função da condutividade térmica K (W/m.°C), a relação de Dittus e Boelter Nu_d (sem dimensão) e o diâmetro da secção d (m); para trabalhos horizontais e inclinados $d = (B + A)/2$, onde B é a base da secção (m) e A corresponde à sua altura (m).

$$\lambda = \frac{K.Nu_d}{d} \quad (3.8)$$

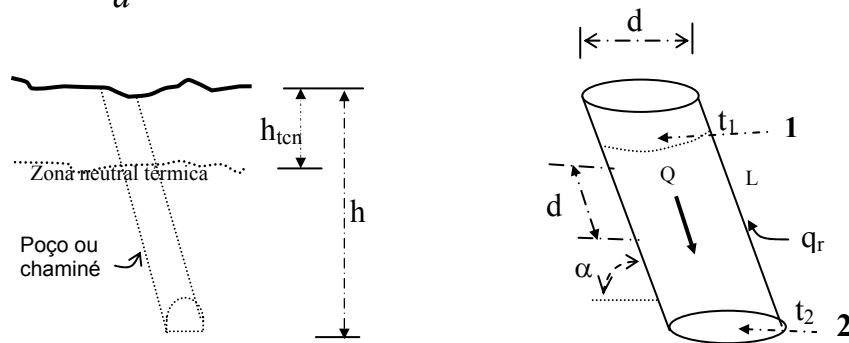


Figura 3.5 – Zona neutra térmica e representação elementar de um poço

A relação de *Dittus e Boelter* Nu_d foi determinada por *Petukohov* “ λ ” (Holman, J.P., 1983) expressando-a para gases (ar) mediante a equação (3.9), onde Re_d é o *número de Reynolds* (sem dimensão), calculado com $Re_d = V.d/\mu$, V é a velocidade média de escoamento do ar (m/s), d é o diâmetro da abertura subterrânea (m), μ é a viscosidade cinemática do ar (kg/m.s), f é o coeficiente de atrito das paredes da abertura subterrânea (kg/m³) e Pr é o *número de Prandtl* (adimensional) calculado mediante $Pr = C_e.\mu/K$. As propriedades físicas e térmicas do ar podem ser obtidas da Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Propriedades do ar à pressão atmosférica (National Bureau Standard E.U.A., Holman, J.P., 1983)

T (°K)	ρ_a (kg/m ³)	C_e (KJ/kg.°C)	ν (kg/m.s)x10 ⁻⁵	μ (m ² /s)x10 ⁻⁶	K (W/m.°C)	Dif.Térm. (m ² /s)x10 ⁻⁴	Pr
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.488	9.49	0.02227	0.13161	0.722
300	1.1774	1.0057	1.983	16.84	0.02624	0.22160	0.708
350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	31.71	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.30	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06525	1.5510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.160	4.44	138.2	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920	0.705
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.1000	3.609	0.705
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.715	0.700
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120	0.707
2300	0.1538	1.482	7.14	464.0	0.149	6.540	0.710
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020	0.718
2500	0.1394	1.688	7.57	543.5	0.175	7.441	0.730

$$Nu_d = \frac{\frac{f}{8} Re_d \cdot Pr}{1.07 + 12.7 \left(\frac{f}{8}\right)^{0.5} (Pr^{0.67} - 1)} \quad (3.9)$$

3.1.2.3. Transferência de calor gerado por equipamentos com motor diesel

Os equipamentos utilizados nos trabalhos subterrâneos que geram calor transmitido ao ar da atmosfera subterrânea são:

1) Equipamentos móveis com motor diesel e com motor eléctrico (jumbos para perfuração, camiões ou *dumpers* para transporte, pás ou LHDs para carga e remoção, locomotivas, etc.);

2) Equipamentos e sistemas eléctricos não móveis (ventiladores auxiliares, iluminação, bombas, guinchos, estações ou subestações de transformação, etc.).

Da variedade de equipamentos usados em trabalhos subterrâneos, os movidos a diesel (fig. 3.6), contribuem significativamente na transmissão de calor ao ar que escoo na atmosfera subterrânea.

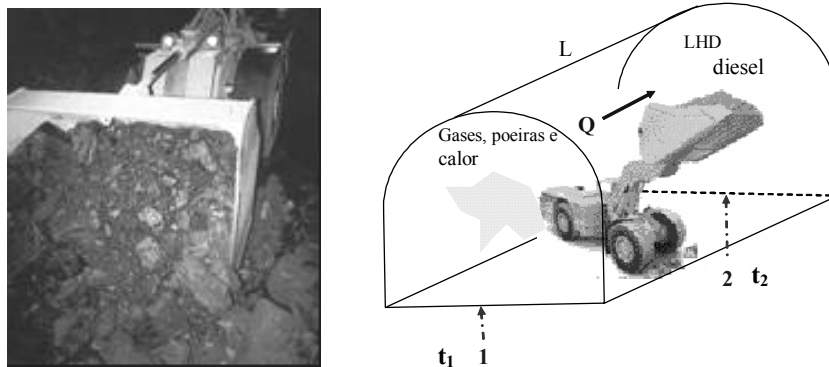


Figura 3.6 – Equipamento diesel em operação (LHD) e trecho elementar do ambiente subterrâneo

O consumo de óleo diesel pelos motores dos equipamentos é de 0.24 kg/kWh, com um valor calorífico de 44 MJ/kg (Vutukuri, V.S. *et al.*, 1986), pelo que o total de energia libertada é de $0.24 \times 44 \times 10^3 \text{ KJ/kWh} = 10560 \text{ KJ/kWh} = 176 \text{ KJ/minuto}$. $\text{KW} = 2.9 \text{ kJ/s.KW} = 2.9 \text{ KW/KW}$. De este total 1 KW é convertida em energia mecânica e 1.9 KW é liberada em gases expulsos pelo motor. Esta quantidade de energia não é transferida na sua totalidade ao ar que escoo no ambiente em que trabalha o equipamento, visto que é função do tempo efectivo de uso da máquina, portanto é particular e diferente para cada condição de trabalho subterrâneo sendo o valor próximo de 0.9 KW.

A emissão de calor por equipamentos com motor diesel q_{ed} (KW) pode ser traduzida por

$$q_{ed} = f \cdot q_d \cdot p_d$$

onde q_d é a energia equivalente liberada por óleo diesel (2.9 KW/KW), p_d é a potência do equipamento (KW), $f = f_m \cdot f_t$ é o factor combinado de conversão à energia mecânica e de utilização do equipamento, que é particular para cada mina e até diferente numa área de trabalho para outra.

Desta expressão o acréscimo da temperatura provocado pela utilização de equipamentos diesel ΔT_{ed} (°C) exprime-se pela equação (3.10).

$$\Delta t_{ed} = \frac{f_m \cdot f_t \cdot q_d \cdot P_d}{\rho_a \cdot C_e \cdot Q} \quad (3.10)$$

A influência no acréscimo da temperatura do ar neste caso é a partir do local onde trabalha ou trabalham as máquinas.

3.1.2.4. Transferência de calor por causa da detonação de explosivos

Os disparos realizados com explosivo nas escavações subterrâneas geram calor que é transferido ao maciço rochoso e ao ar da atmosfera subterrânea. *Mine Ventilation Service, Inc.* de E.U.A. (2000) recomenda a expressão indicada a seguir para calcular este calor q_{ex} (KW), em função do calor libertado pela carga explosiva c_e (KJ/kg), da quantidade de explosivo utilizado e_u (kg/dia), e da energia calorífica do explosivo e_u (para o ANFO é de 3900 KJ/kg e para a dinamite 60% de 4030 a 4650 KJ/kg).

$$q_{ex} = (c_e \cdot e_u) / 86400$$

Com esta expressão o acréscimo da temperatura no ambiente subterrâneo por causa da detonação de cargas explosivas Δt_{ex} resulta a equação (3.11).

$$\Delta t_{ex} = \frac{c_e \cdot e_u}{86400 \cdot \rho_a \cdot C_e \cdot Q} \quad (3.11)$$

A influência no acréscimo da temperatura dá-se também a partir do trecho do meio onde se realiza o disparo com explosivo.

3.1.2.5 Outras fontes de transferência de calor ao ambiente subterrâneo

Hartman, H. L. *et al.* (1982), refere que o calor do metabolismo humano não é significativo e até pode ser ignorado, exemplificando que para 800 homens em condições usuais origina uma libertação total de 192 KW (65000 BTU/h), correspondendo a *cada homem 0.25 KW de energia.*

Assim, quando a quantidade de homens presentes no ambiente subterrâneo é grande, o acréscimo da temperatura por causa do metabolismo humano Δt_h (°C) resulta o expressado pela equação (3.12), onde q_h é o calor liberado por homem, é função da temperatura efectiva e determinado usando ábacos (kW/homem), n é o número total de homens.

$$\Delta t_{he} = \frac{q_h \cdot n}{\rho_a \cdot C_e \cdot Q} \quad (3.12)$$

3.1.2.6. Transferência de calor em redes típicas de ar

Para determinar a transferência de calor em circuitos típicos de ar no ambiente subterrâneo (fig. 3.7) aplica-se o fundamento da dinâmica do ar enunciado por Kreide, J. F. (2001).

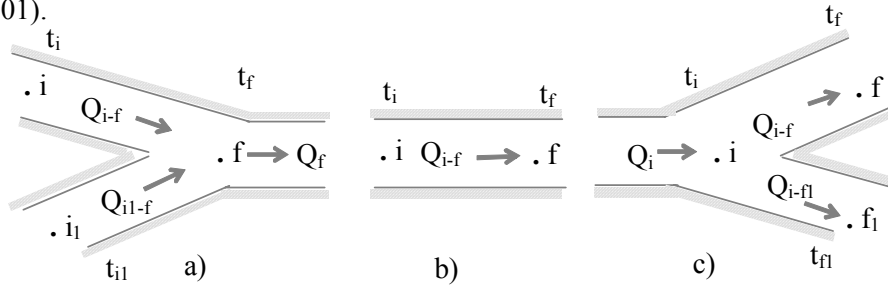


Figura 3.7 – Esquema dos circuitos típicos de ar no ambiente subterrâneo

Circuito típico “a”: neste circuito $m_{i-f} \cdot t_{i-f} + m_{i1-f} \cdot t_{i1-f} = m_f \cdot t_f$; onde m_{i-f} , m_{i1-f} , m_f , t_{i-f} , t_{i1-f} , t_f são massas m e temperaturas t de ar nos trechos $i-f$, $i1-f$ e no trecho de junção com o nó inicial f respectivamente. Este balanço de massas tem o mesmo princípio que o balanço de caudais Q do ar, resultando

$$Q_{i-f} \cdot t_{i-f} + Q_{i1-f} \cdot t_{i1-f} = Q_f \cdot t_f, \text{ donde: } t_f = (Q_{i-f} \cdot t_{i-f} + Q_{i1-f} \cdot t_{i1-f}) / Q_f$$

onde, Q_{i-f} é o caudal de ar no trecho $i-f$, $t_{i-f} = t_i + \Delta t_{i-f}$, Q_{i1-f} é o caudal no trecho $i1-f$, $t_{i1-f} = t_{i1} + \Delta t_{i1-f}$, Q_f é o caudal no início do trecho de junção. Pela primeira Lei de Kirchoff $Q_f = Q_{i-f} + Q_{i1-f}$ e assim, a temperatura no nó de junção f representada como t_f , resulta a equação a seguir, que em termos de caudais dos trechos de junção resulta a equação (3.13).

$$t_f = [Q_{i-f}(t_i + \Delta t_{i-f}) + Q_{i1-f}(t_{i1} + \Delta t_{i1-f})] / Q_f$$

$$t_f = \frac{Q_{i-f}(t_i + \Delta t_{i-f}) + Q_{i1-f}(t_{i1} + \Delta t_{i1-f})}{Q_{i-f} + Q_{i1-f}} \quad (3.13)$$

No circuito típico “a” cumpre-se a equivalência entre o produto de resistências e caudais demonstrada a seguir. Deduzindo desta equivalência o caudal em função das resistências e substituindo na equação (3.13) obtêm-se a equação (3.14).

$$R_{eq} \cdot Q_f^2 = R_{i-f} \cdot Q_{i-f}^2 = R_{i1-f} \cdot Q_{i1-f}^2, \text{ de onde } R_{eq} = \{ 1 / [(1 / R_{i-f})^{0.5} + 1 / R_{i1-f})^{0.5}] \}^2$$

e,

$$t_f = \left(\frac{R_{eq}}{R_{i-f}} \right)^{0.5} (t_i + \Delta t_{i-f}) + \left(\frac{R_{eq}}{R_{i1-f}} \right)^{0.5} (t_{i1} + \Delta t_{i1-f}) \quad (3.14)$$

Na equação (3.14), R_{eq} é a resistência equivalente do circuito inicial i e final f , R_{i-f} é a resistência do trecho $i-f$, R_{i1-f} é a resistência no trecho $i1-f$, Δt_{i-f} , Δt_{i1-f} são os acréscimos totais das temperaturas nos trechos $i-f$ e $i1-f$, respectivamente.

O acréscimo total de temperatura na atmosfera subterrânea Δt_{total} (°C) é a soma total dos incrementos causados (equação 3.15)

$$\Delta t_{total} = \Delta t_{ha} + \Delta t_r + \Delta t_{ed} + \Delta t_{ex} + \Delta t_h + \Delta t_t \quad (3.15)$$

onde os acréscimos são provocados por *autocompressão* (Δt_{ha}), maciço rochoso (Δt_r), equipamentos diesel (Δt_{ed}), detonação do explosivo (Δt_{ex}), metabolismo humano (Δt_h) e água termal (Δt_t).

Circuito típico “b”: neste tipo de circuito a temperatura t_f no nó final f é expressa pela equação (3.16).

$$t_f = t_i + \Delta t_{i-f} \quad (3.16)$$

Circuito típico “c”: neste tipo de circuito a temperatura nos nós finais dos dois ramais t_f e t_{f1} são definidos com os mesmos conceitos utilizado para o circuito típico “a”, pelo que:

$Q_i \cdot t_i = Q_{i-f} \cdot t_f + Q_{i-f1} \cdot t_{f1}$ de onde, $t_f = (Q_i \cdot t_i - Q_{i-f1} \cdot t_{f1}) / Q_{i-f}$, e como: $Q_i = Q_{i-f} + Q_{i-f1}$, têm-se:
 $t_f = (Q_{i-f} \cdot t_i + Q_{i-f1} \cdot t_i - Q_{i-f1} \cdot t_{f1}) / Q_{i-f} = t_i + Q_{i-f1} / Q_{i-f} (t_i - t_{f1})$ mas como $t_{f1} = t_i + \Delta t_{i-f1}$, resulta:

$$t_f = t_i - \Delta t_{i-f1} \left(\frac{Q_{i-f1}}{Q_{i-f}} \right) \quad (3.17)$$

De forma análoga ao procedido para o circuito típico “a” a equação (3.17) em termos da resistência das aberturas subterrâneas, resulta como o expresso pela equação (3.18) e (3.19).

$$R_{eq} \cdot Q_i^2 = R_{i-f} \cdot Q_{i-f}^2 = R_{i-f1} \cdot Q_{i-f1}^2, \text{ donde } R_{eq} = \left\{ 1 / \left[(1 / R_{i-f})^{0.5} + 1 / R_{i-f1}^{0.5} \right] \right\}^2$$

e,

$$t_f = t_i - \Delta t_{i-f1} \left(\frac{R_{i-f}}{R_{i-f1}} \right)^{0.5} \quad (3.18)$$

$$t_{f1} = t_i - \Delta t_{i-f} (Q_{i-f} / Q_{i-f1})$$

$$t_{f1} = t_i - \Delta t_{i-f} \left(\frac{R_{i-f1}}{R_{i-f}} \right)^{0.5} \quad (3.19)$$

Estes modelos matemáticos foram validados na mina de Neves Corvo cujo processo é apresentado no item 3.2.5.

3.1.2.7. Influência da temperatura exterior na temperatura do ambiente subterrâneo

A nível geral a temperatura média exterior do ar diminui progressivamente com o aumento da altitude, variando de 0.56 a 0.65 °C por cada 100 metros (Tabela 3.3).

As condições climáticas do ar exterior variam em função das estações do ano, facto que provoca no Verão entrada de ar quente na atmosfera subterrânea e no Inverno ar frio. Assim, existe influência da temperatura exterior na temperatura do ambiente subterrâneo tal como foi caracterizado na mina de Neves Corvo (fig. 3.8).

$$\Delta T_f = f \cdot \Delta T_e \quad (3.20)$$

Tabela 3.3 – Pressão e temperatura em relação à altitude e em condições normais (American Society of Heating and Ventilating Engineers, 1947)

Altitude (pés)	Pressão (polegadas de Hg)	Temperatura (°F)
-1000	31.02	+62.6
-500	30.47	+60.8
0	29.92	+59.0
+500	29.39	+57.2
+1000	28.86	+55.4
+5000	24.89	+41.2
10000	20.58	+23.4
15000	16.88	+5.50
20000	13.75	-12.3
25000	11.10	-30.1

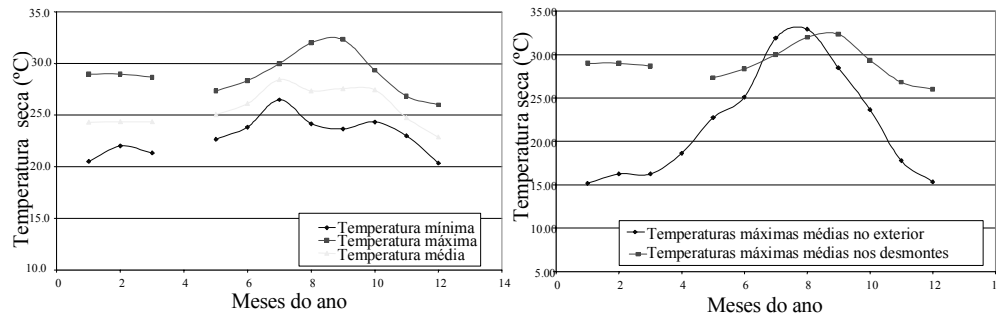


Figura 3.8 – Oscilação típica da temperatura média mensal ao longo do ano no ambiente exterior e subterrâneo da mina de Neves Corvo (com base na informação da Somincor 1998, 1999 e 2000)

A estimação da variação da temperatura nas frentes de exploração em função da temperatura exterior é possível estimar com a equação (3.20). Onde ΔT_f é a variação de temperatura nas frentes de exploração ao longo do ano, $f = 0.24$ a 0.35 para grandes minas de Europa, e ΔT_e a variação de temperatura exterior entre estações de menor e maior temperatura do ano. Esta influência é estudada detalhadamente no processo da aplicação a minas peruanas e portuguesas, que é abordado na quarta parte do presente livro. Um estudo detalhado realiza-se na terceira parte do livro.

3.1.3. Normas e padrões de qualidade ambiental térmico

Em termos gerais as normas e regulamentação de distintos países, em relação ao limite da temperatura no ambiente subterrâneo varia dum país a outro (Tabela 3.4), quer na quantidade quer no parâmetro indicador.

Tabela 3.4 – Valor limite admissível de temperatura

Pais	Temperatura seca (°C)	Pais	Temperatura seca (°C)
E.U.A.	30	França	28 (Efectiva)
Austrália	27	Sul África	27.5
Bélgica	30 (Efectiva)	Brasil	30
Portugal	31	Zâmbia	32

Em E.U.A. a OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) consoante os valores limite admissíveis indicados na publicação de 1992-1993 por ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) são adoptados os padrões indicados na Tabela 3.5. Estes limites da exposição são válidos para pessoas com roupa leve pelo que para outros tipos de roupa deve ser corrigido. Para vestimenta total de algodão a correcção é com -2°C , para roupa de inverno com -4°C e roupa impermeável (água) com -6°C .

Tabela 3.5 – Valores limite admissíveis de temperatura de bolbo húmido em ° C (OSHA E.U.A. disponível em www.osha-slc.gov,1992)

Trabalho efectivo por hora	Intensidade do trabalho		
	Leve	Moderado	Alto
Contínuo	30	26.7	25
75%	30.6	28	25.9
50%	31.4	29.4	27.9
25%	32.2	31.1	30

A Organização Mundial de Saúde (*World Health Organization*) recomenda uma temperatura efectiva $< 30^{\circ}\text{C}$ para actividades em condição *sedentária*, $< 28^{\circ}\text{C}$ para actividades com *ritmo moderado* e $< 26.5^{\circ}\text{C}$ para *trabalho forte*. No caso dum processo de climatização individual o limite admissível aumenta em 2°C em cada caso. Para temperaturas de 27.7 a 30°C existe um aumento do rendimento humano (disponível em www.who.int/ e www.cdc.gov/niosh/pdfs/86-113f.pdf).

Jhonson, B., 1992 considera que um bom padrão do conforto é quando a temperatura efectiva varia de 21°C a 26.5°C .

Em relação ao conforto térmico ambiental a ASHARAE (*American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc*) define como temperatura operativa óptima de 22.7°C , a velocidade do ar de 0.15 m/s (Inverno) e 0.25 m/s (Verão) para um *isolamento com roupa* (*Clothing Insulation, clo*) de 0.9 clo (Inverno) e de 0.5 clo (Verão) (<http://ergo.human.cornell.edu/studentdownloads/DEA350notes/Thermal/thcomnotes1.html>). Quando esta temperatura é maior de 28°C é preciso aumentar a velocidade do ar até 0.8 m/s . Para 0.05 clo a temperatura operativa óptima é de 24.4°C com um máximo permissível de 27.2°C nesta condição. Na Europa, a unidade de *isolamento térmico de roupa* é expressa por *Tog* ($1\text{ Tog} = 0.645\text{ clo}$)

Em Portugal o Decreto-Lei n.º 162/90 do 22 de Maio de 1990, no Artigo 148º, é referido a temperatura em trabalhos subterrâneos, regulamentado da forma indicada na

Tabela 3.6. O Decreto-Lei referido indica, além de que quando se suspeite locais de elevada temperatura e humidade ou poderem atingir-se os valores limite referidos, deve proceder-se à medição da temperatura pelo menos cada quinze dias e quando atingidos diariamente.

Finalmente, o Decreto-Lei n.º 162/90 considera que os valores referidos da Tabela 3.6, podem ser alterados desde que não sejam superiores a 28 °C a temperatura efectiva a determinar pela equação (3.21), onde, t_e , t_h e t_s são a temperatura efectiva, a temperaturas húmida e seca, respectivamente e V é a velocidade da corrente de ar em metros por segundo.

$$t_e = 0.7T_h + 0.3T_s - V \quad (3.21)$$

Tabela 3.6 – Decreto-lei n.º 162/90 do 22 de Maio, Artigo 148º

Temperatura (°C)		Período de permanência no trabalho
Seca	Húmida	
31	26	Permitido
31 - 35	26 - 30	Seis (6) horas
>35	>30	Não permitido

No Peru o art.º 83 do novo Regulamento de Segurança e Higiene indica que nos lugares de trabalho onde ultrapasse uma temperatura efectiva de 30 °C devem tomar-se medidas como: Período curto de descanso, fornecimento de água para beber, aclimação, saquinhos de sal, entre outros a fim de controlar a fadiga, desidratação e outros efeitos sobre o pessoal e recomenda a forma de obter a temperatura efectiva permitida (Tabela 3.7).

Na actualidade o conceito de conforto para o homem está relacionado com a temperatura operativa (*operative temperature*), a temperatura efectiva (*effective temperature*), e humidade relativa (fig. 3.9).

Tabela 3.7 – Velocidade do ar (m/min) para obter uma temperatura efectiva de 30 °C (Regulamento de Segurança e Higiene do Peru, 2001)

Temperatura do ar (°C)	Humidade relativa (%) do ar										
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
30											
31											30
32									30	60	90
33							25	50	90	140	
34						30	50	100	150		
35					45	90	140				
36			35	95	140						
37		50	105								
38	55	100	150								
39	150										
40											

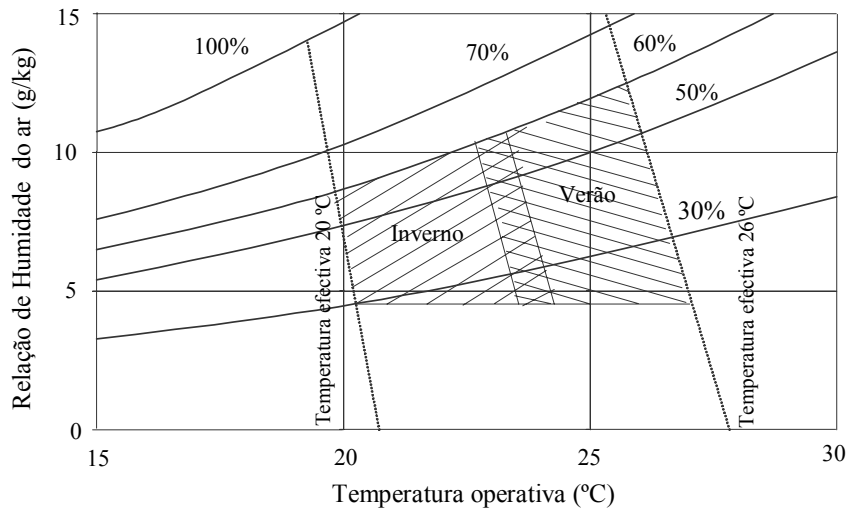


Figura 3.9 – Amplitude aceitável de temperatura operativa e humidade do ar para pessoas com actividade sedentária (≤ 1.2 met), baseada em 10% de insatisfação pessoal (baseado em Kreider, J.F., 2001).

A temperatura operativa T_{op} (°F) é dada pela equação (3.22) (ASHRAE *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, inc, 1997*)

$$T_{op} = \frac{h_{com} \cdot T_s + h_{rad} \cdot T_r}{h_{com} + h_{rad}} \quad (3.22)$$

onde, $h_{com} = (M - 0.85)^{0.39}$, para pessoas em actividade $1.1 \leq M \leq 30$ met, onde M é a produção de calor por metabolismo humano (met), ($1\text{met} = 1M = 18.4 \text{ BTU/h.pé}^2 = 58.2 \text{ W/m}^2$), T_s é a temperatura seca (°F), T_r é a temperatura mínima de radiação referencial do corpo humano (80 °F ou 26.7 °C), h_{rad} é o valor padrão de radiação do corpo humano ($0.83 \text{ BTU/h.pé}^2 \cdot \text{°F}$).

A produção de calor por metabolismo humano varia com relação ao tipo de actividades que o homem realiza e para actividades no subsolo os valores adaptados são os apresentados na Tabela 2.9, que mostram uma margem de valores de menor a maior intensidade.

Kreide, J.F., (2001), determina a temperatura operativa admissível e óptima para o *conforto humano* para actividades normais (≤ 1.2 met) a 50% de humidade e velocidade do ar $\leq 0.15 \text{ m/s}$ (Tabelas 3.8 e 3.9).

Baseado na equação (3.22) e com simples transformação aritmética a temperatura T_s de conforto resulta expressa pela equação (3.23).

$$T_s = \frac{T_{op} (h_{com} + h_{rad}) - h_{rad} \cdot T_r}{h_{com}} \quad (3.23)$$

Tabela 3.8 – Valores típicos da produção de calor por metabolismo humano (adaptado para actividades no ambiente subterrâneo de Kreide, J.F., 2001)

Actividade do homem	Produção de calor por metabolismo humano (M)		
	BTU/h.pé ²	2 W/m ²	met
Actividades de escritório (relatórios e outras)	18 – 39	55 – 120	– 2.1
Operador de máquinas leves	18 – 37	60 – 115	– 2.0
Operador de máquinas pesadas (pás, jumbo, etc.)	33 – 74	105 – 235	1.8 – 4.0
Trabalho manual com pico, pá, maço, martelo, etc.	74	235	4.0
Caminhar (0.88 m/s - 1.8 m/s)	37 - 70	115 - 220	2.0 – 3.8

Tabela 3.9 – Temperatura operativa para actividades normais do homem (≤ 1.2 met) a 50% de humidade e velocidade do ar ≤ 0.15 m/s (adaptado de Kreide, J.F., 2001)

Condição do ambiente	Tipo de vestido usado	T _{op} óptima (°C)	Amplitude de T _{op} de conforto (°C)
Temperaturas Baixas (Inverno)	Camisa manga cumprida e camisola, roupa pesada (macacão)	22	20 – 23.5
Temperaturas altas (verão)	Roupa leve camisa e macacão manga curta Roupa mínima	24.527	23 – 2626 - 29

Verifica-se que a condição de *conforto térmico* do homem está entre 20 °C e 29 °C (temperatura seca de 17 °C a 30 °C) de temperatura operativa e a *condição óptima* manifesta-se em temperaturas operativas de 22 °C a 27 °C (temperatura seca 20 °C a 27 °C) para as condições referidas na Tabela 3.9.

3.1.4. Matriz para a identificação do impacte ambiental térmico

A matriz base para a identificação do nível de impacte ambiental térmico está sustentada nos padrões de qualidade e conforto definidos pelas normas e instituições reconhecidas e desenvolvidas no item 1.2.3, que permitem estabelecer três níveis de impacte ambiental: *Leve, moderado e alto*.

Tabela 3.10 – Matriz base para a avaliação do impacte ambiental térmico

Temperaturas (°C)	Níveis de impacte ambiental		
	Leve ∇	Moderado ⊗	Alto ♦
Seca (t _s)	27 < t _s ≤ 31	31 < t _s ≤ 35	t _s > 35
Húmida (t _{he})	25 < t _{he} ≤ 26	26 < t _{he} ≤ 30	T _{he} > 30

Para identificar o impacte ambiental térmico deve-se analisar a totalidade dos locais com presença de pessoas, baseado nas redes de ar caracterizadas e comparando as temperaturas medidas com valores definidos pela matriz base (Tabela 3.10). O resultado

deve-se representar numa matriz de impacte ambiental térmico (Tabela 3.11) ou em mapa.

Tabela 3.11 – Modelo de matriz de impacte ambiental térmico, dinâmico e volumétrico

Circuito	Trechos	Frente de trabalho	Níveis de impacte ambiental térmico
Poço “X” a Poço “E” etc.	1-2	Galeria “A”	⊗
	1-3	Rampa “B”	◆
	3-4	Chaminé “C”	⊗
	4-5	Painel de lavra “A”	◆
	12-13	Colector “D”	∇
	65-80	Galeria de transporte	∇

Leve: ∇ Moderado: ⊗ Alto: ◆

3.1.5. Medidas correctivas para atenuar o impacte ambiental térmico

As técnicas para a atenuação ou redução de temperaturas que superem os níveis de conforto dependem da profundidade na que se localizam os ambientes de trabalho subterrâneo.

Para profundidades onde a temperatura final nos locais de trabalho t_f influenciado pela temperatura da rocha virgem (Δt_r) ultrapassam o limite admissível (VLA) estabelecido pelas normas ou padrões de conforto, as técnicas adequadas são de refrigeração (caso de minas profundas), mas quando esta temperatura t_f (por causa de Δt_r) está abaixo e próximo ao valor limite admissível (VLA) a técnica recomendável é a ventilação.

No presente estudo desenvolvem-se as medidas correctivas para minas deste género (ventilação), pelo facto de que a sua aplicação é em minas de Portugal e Peru, países onde não existem actualmente minas de grande profundidade.

3.1.5.1. Validação do modelo matemático desenvolvido

A funcionalidade prática do modelo matemático desenvolvido precisa ser comprovado, para considerar válida a sua aplicação. O ambiente subterrâneo elegido para foi o da mina de Neves Corvo, onde foram registadas temperaturas próximas ao VLA da norma portuguesa.

3.1.5.1.1. Em aberturas subterrâneas verticais

Para a validação do modelo matemático desenvolvido foi seleccionado o poço CPV3 (fig. 3.10), construído com sistema *raise boring* entre as cotas de 1222.40 até 973.64 (248.76 m), com diâmetro de 2 m (perímetro 14.86m e secção 13.85 m²). O coeficiente de fricção identificado é de 0.0362 kg/m³, o caudal do ar de 164.03 m³/s e a temperatura exterior de 24.4 °C (medidos no mês de Julho de 2000).

- a). A temperatura de autocompressão (Δt_{ha}), obtêm-se aplicando a equação (2.1), resultando um acréscimo de 2.44 °C.
- b). A transferência de calor do maciço ao ar subterrâneo (Δt_r), calcula-se com a equação (3.6), sendo g_g igual a 30.3 m³/C (resultado de estudos hidrogeológicos realizados nos anos 1984 e 1985, na rampa de acesso e sondagem CVH1, Fernández Rubio R. *et al.*, 1990).

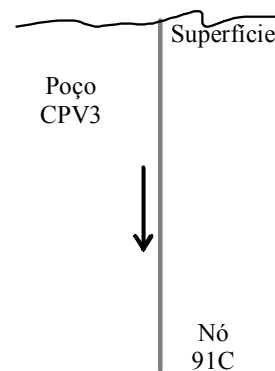


Figura 3.10 – Esquema do poço CPV3

Usando a equação (3.2) a condutividade térmica média do maciço rochoso na mina de Neves Corvo é de 1.52 W/m.°C.

Os parâmetros físicos químicos do ar à temperatura de 24.4 °C (297.58 °K) obtiveram-se interpolando os valores da Tabela 3.2 dando os resultados seguintes: $\rho_a = 1.1888 \text{ kg/m}^3$, $C_e = 1.0056 \text{ KJ/kg.}^\circ\text{C}$, $\mu = 16.48 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $K = 0.026 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ e $Pr = 0.709$.

Aplicando a equação (3.9) com $f = 0.0362 \text{ Kg/m}^3$, $Pr = 0.709$ e Re_d (número de Reynolds) = 1.44×10^{-6} calculados com $Re_d = V.d/\mu$ com velocidade $V = 11.84 \text{ m/s}$, a relação de Dittus e Boelter Nu_d resulta 5162.02.

Este valor permite calcular o coeficiente de transferência de calor λ mediante a equação (3.8) e com $d = 2 \text{ m}$, resulta 76.106 W/m².°C.

Com $h_{tcn} = 30 \text{ m}$ (para a mina de Neves Corvo), $L - h_{tcn} = 248.76 \text{ m} - 30 \text{ m} = 218.76 \text{ m}$. Com todos estes valores e aplicando a equação (3.7) o acréscimo da temperatura por causa do maciço rochoso resulta $\Delta t_r = t_2 - t_1 = 2.79 \text{ }^\circ\text{C}$.

Finalmente o acréscimo da temperatura por autocompressão e pelo maciço rochoso no fundo do poço CPV3 dá um total de 5.23 °C.

Em medições realizadas no mês de Julho de 2000 na base do poço CPV3, registou-se a temperatura de 28 °C quando no exterior era de 23°C, existindo, portanto, uma diferença de 5 °C. A diferença entre o resultado obtido mediante o modelo matemático (5.23 °C) e os registos da medição (5 °C) é de apenas 4.6%, demonstrando isto a validade do modelo matemático desenvolvido expresso nas equações desde (3.1) a (3.7).

3.1.5.1.2. Validação em aberturas horizontais

Este caso corresponde ao circuito típico “b” e a validação do modelo matemático é na área de exploração Corvo, nomeadamente no acesso C0547GAM (fig. 3.11) às frentes de exploração 547GA1, 547GA2, 547GA3 e 547GA4, com as informações seguintes: produção de 6000 toneladas de minério por disparo com 0.20 kg ANFO/t (Coupers, D. *et al.*, 1998), trabalha uma pá (LHD) Toro 500D com motor diesel de 204

KW, com presença dum máximo de três homens por turno. O desmonte está inclinado entre as cotas de 550.70 e 551.60 m no sentido do escoamento do ar, comprimento 204.0 m, secção 27.56 m², perímetro 20.96 m, coeficiente de fricção 0.0046 kg/m³ e caudal 8 m³/s.

Para determinar λ pela equação (3.8) é necessário calcular Nu_d . Com a equação (3.9) e com $f = 0.0046 \text{ kg/m}^3$, $Pr = 0.709$ e $Re_d = 0.0902 \times 10^{-6}$ calculado com $Re_d = V.d/\mu$ sendo a velocidade $V = 0.29 \text{ m/s}$, a relação de Dittus e Boelter Nu_d resulta 36.693.

a) A transferência de calor do maciço rochoso (Δt_r), é calculado com parâmetros obtidos da Tabela 3.2 para uma temperatura t_1 de 28 °C (300 °K) são: $\rho_a = 1.1774 \text{ Kg/m}^3$, $C_e = 1.0057 \text{ KJ/kg} \cdot \text{°C}$, $\mu = 16.84 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $K = 0.02624 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$ e $Pr = 0.709$.

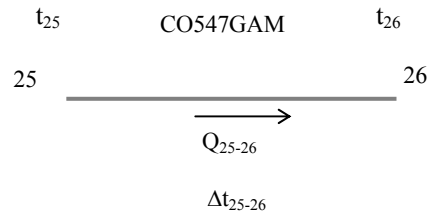


Figura 3.11 – Esquema representativo da frente de exploração CO547GAM

Com este valor calcula-se o coeficiente de transferência de calor λ mediante a equação (3.8) e com $d = 5.24 \text{ m}$, resultando $\lambda = 0.1837 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$.

Finalmente com $h_1 = 1210.00 - 550.70 = 659.30 \text{ m}$ e aplicando a equação (3.6) o acréscimo da temperatura por causa da rocha virgem, para este caso (CO547GAM) e ao final do trecho é $\Delta t_r = t_2 - t_1 = 0.826 \text{ °C}$.

b) A temperatura por detonação de explosivo (Δt_{ex}) é determinada aplicando a equação (3.11) com C_e para ANFO de 3900 KJ/kg e $e_u = (6000t/\text{disparo})(2 \text{ disparos/semana-frente})(1 \text{ semana}/6 \text{ dias})(0.2 \text{ kg ANFO}/t) = 342.86 \text{ kg ANFO}/\text{dia-frente}$, resultando um acréscimo de temperatura de 1.63°C.

c) A transferência de calor de equipamentos (Δt_{ed}) é um factor conjugado $f_m \cdot f_t$ e próprio de cada área de trabalho, para o presente caso determinou-se baseado nos estudos realizados em Julho do 2000 em condição de mina parada e registos de Julho 1998 em condição de mina em operação (Tabela 7.11). Nestas condições existe uma diferença média de 3.4 °C (8 m³/s) em Corvo, 4.6 °C (3.8 m³/s) em Graça e 5.4 °C (7 m³/s) em Neves, para uma potência média de pás (LHDs) de 180.9 KW e sabendo que na condição de paragem da mina só existe influência de calor gerado pelo grau geotérmico, ao aplicar a equação (2.15) têm-se: $\Delta t_{total} = \Delta t_{ex} + \Delta t_{ed} = 1.63 \text{ °C} + \Delta t_{ed}$ e com $\Delta t_{total} = 3.4 \text{ °C}$ resulta $\Delta t_{ed} = 1.77 \text{ °C}$ para a área Corvo. Portanto para esta condição e com a equação (3.10) o valor do factor $f_m \cdot f_t$ resulta de 0.032 para a área de Corvo.

Com o factor combinado o acréscimo de temperatura (Δt_{ed}) e com mesma equação (3.10) resulta de 2 °C. Portanto $\Delta t_{total} = \Delta t_r + \Delta t_{ex} + \Delta t_{ed} = 0.83 + 1.63 + 2 = 4.46 \text{ °C}$. Estes resultados expressos em percentagem são: Δt_r 18.6%, Δt_{ex} 36.5% e Δt_{ed} 44.9%.

Hartman, H.L. (1982), refere que em minas de E.U.A. o acréscimo da temperatura é de 16.5% por causa do maciço rochoso, 31.1% devido à detonação de explosivo e 52.4% por equipamentos. Os resultados obtidos com a aplicação do modelo matemático desenvolvido estão próximos a estes valores, indicando a sua validade e aplicação para fins de previsão de impacto ambiental térmico.

3.1.5.1.3. Validação em aberturas com junção e disjunção

As aberturas subterrâneas escolhidas foram na área Neves que correspondem ao colector N0900GV para o circuito típico “a” e a rampa NRAM02 (colector 900) para o circuito típico “c” (fig. 3.12).

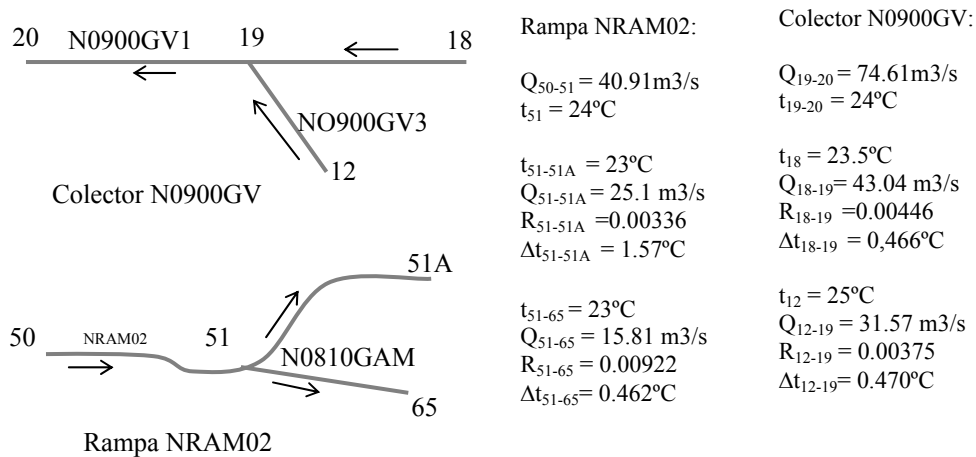


Figura 3.12 – Circuitos típicos “a” e “c” da área Neves da mina Neves Corvo

a) Aplicando as equações (3.13) e (3.14) no Colector de ar N0900GV, que representa ao circuito típico “a”, a temperatura final no ponto de junção 19 resulta 24.6 °C, sendo um valor exactamente igual para ambas equações como era de esperar.

b) Aplicando as equações (3.17) a (3.19) na rampa NRAM02 e ramificação correspondente, que representa o circuito típico “c” (fig. 3.7), obtêm-se no ponto 51A a temperatura de 23.7 °C e no ponto 65 uma temperatura de 22.8 °C, cujos cálculos foram com caudais de ar medidos e com resistências da abertura subterrânea determinadas.

No colector N0900GV (área de Neves) a temperatura medida foi de 24 °C e a calculada de 24.6 °C dando uma diferença de 2.5%. Na rampa NRAM02, as medições deram uma temperatura de 23 °C nos trechos 51-51A e 51-65, dando uma diferença de 1% a 3%.

Estes resultados provam que o modelo matemático desenvolvido para junções e conjunções também tem a validade esperada.

3.1.5.2. Modelação da transferência de calor nas redes típicas

Para a procura duma medida correctiva adequada, usando os modelos matemáticos desenvolvidos, recorrem-se a trechos típicos utilizando os parâmetros das

condições ambientais medidos nestes trechos na mina de Neves Corvo, semelhantes aos mostrados na fig. 3.7. A modelação é feita utilizando Excel Microsoft 2000.

a). *Modelação em circuitos com junção de ramais no nó inicial dum trecho*: a expressão matemática particular para a junção típica do Colector N0900GV é baseada nas equações (3.6), (3.10), (3.11), (3.13), (3.14), (3.15) e os dados medidos e determinados indicados no lado direito da fig. 3.13.

As propriedades do ar à temperatura de 24.2 °C obtidas da Tabela 3.2 são: $\rho_a = 1.1888 \text{ kg/m}^3$, $C_e = 1.0056 \text{ KJ/kg.}^\circ\text{C}$, $K = 0.026 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$, $\mu = 16.48 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ e $Pe = 0.709$. Com as equações (3.8) e (3.9) calcula-se λ , resultando $\lambda = 5.56 \text{ W/m}^2.^\circ\text{C}$ para o trecho 18-19 e $\lambda = 3.66 \text{ W/m}^2.^\circ\text{C}$ para o trecho 12-19.

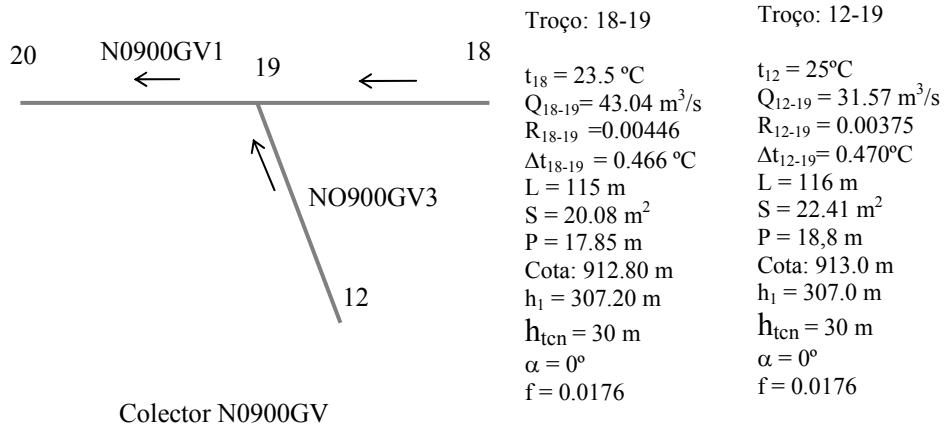


Figura 3.13 – Junção típica no Colector N0900GV da área de Neves

Neste ambiente subterrâneo $\Delta t_{ed} = 0$, $\Delta t_{ex} = 0$ e $\Delta t_h = 0$, por ser um colector de ar poluído, pelo que, as expressões matemáticas de temperatura (t) em função do caudal (Q) e velocidade do ar (V), para este caso particular resultam as equações indicadas a seguir e os resultados da simulação são ilustrados nas fig. 3.14 e fig.3.15.

$$t_{19} = \{Q_{18-19} [(23.5 + (43.67 / (4.77 + Q_{18-19})))] + Q_{12-19} [(25 + (30.32 / (3.34 + Q_{12-19})))]\} / (Q_{18-19} + Q_{12-19})$$

$$t_{19} = \{V_{18-19} [(471.88 + (43.67 / (0.24 + V_{18-19})))] + V_{12-19} [(560.25 + (30.32 / (0.15 + V_{12-19})))]\} / (V_{18-19} + V_{12-19})$$

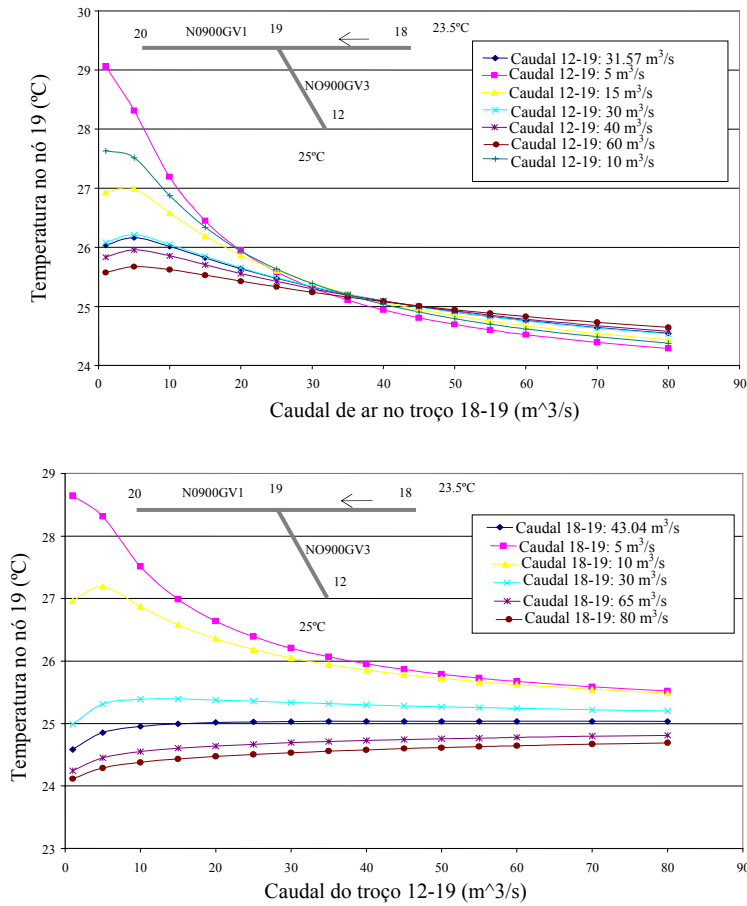


Figura 3.14 – Tendência da temperatura no nó 19 em função do caudal de ar nos ramais 18-19 e 12-19 do colecter N0900GV da área Neves

Os resultados da modelação da temperatura em função da velocidade e do caudal mostram um comportamento similar.

O aumento do caudal no trecho de menor temperatura (trecho 18-19, $t_{18} = 23\text{ °C}$), da origem a um gradual decréscimo no nó de junção (t_{19}), com tendência similar desde o caudal médio de referência ($37\text{ m}^3/\text{s}$) e com evolução mais acentuada para caudais inferiores a este.

O aumento do caudal no trecho de maior temperatura (trecho 12-19, $t_{18} = 23\text{ °C}$), mostra a tendência assintótica da temperatura no nó de junção, com evolução mais acentuada nos caudais inferiores ao caudal médio de referência.

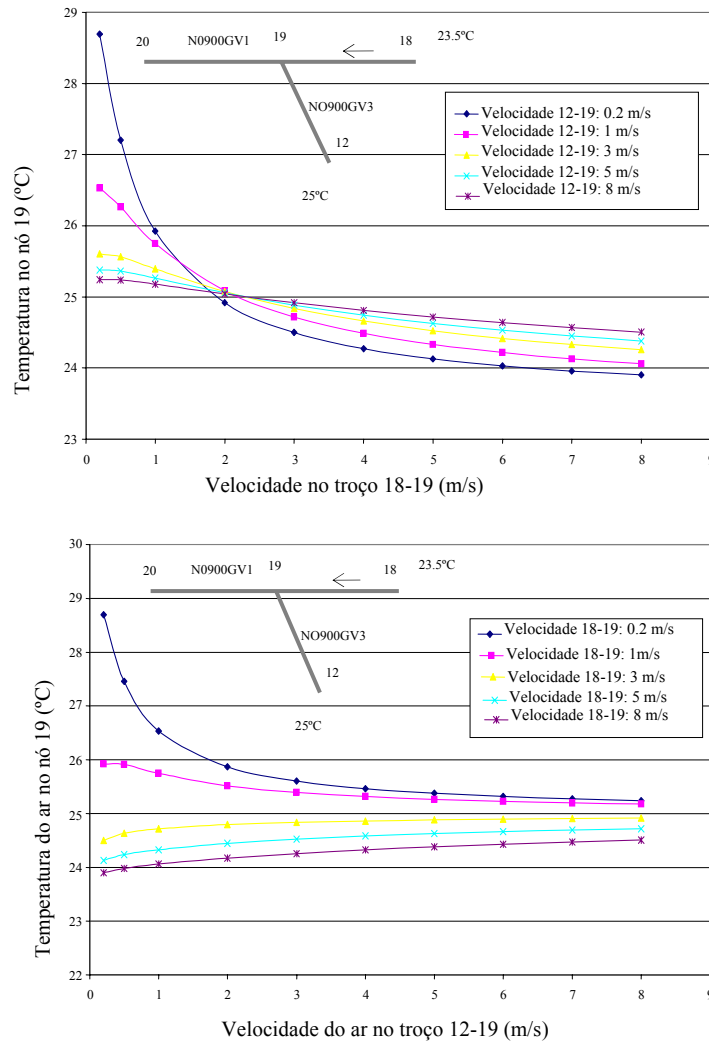


Figura 3.15 – Tendência da temperatura no nó 19 em função da velocidade de ar nos ramais 18-19 e 12-19 do colectador N0900GV da área Neves

As conclusões permitem formular uma *medida correctiva* no sentido de *reduzir o caudal do trecho com maior temperatura até níveis permissíveis e aumentar o caudal do outro trecho a níveis superiores ao caudal de referência*. Este caudal não deve gerar velocidade superior à permitida pelos padrões ou leis.

A resolução matemática desta conclusão desenvolve-se, baseada na equação (3.13), com as condições de restrição contempladas pelas normas ou leis.

Uma *máxima redução da temperatura t_f* , acontece quando o caudal de ar do trecho de *menor temperatura elimina* o acréscimo de temperatura do trecho de *maior*

temperatura, para um caudal mínimo neste trecho q , desde que seja permitido pelos padrões.

Se: $t_i > t_{i1}$ ou $(t_i + \Delta t_{i-f}) > (t_{i1} + \Delta t_{i1-f})$, as condições: $\Delta t_{i1-f} = 0$, $Q_{i-f} = q$ e $Q_{i1-f} / S_{i1-f} \leq 8$ m/s

Onde S_{i1-f} é a secção da abertura do trecho $i1-f$ (m^2); pelo que o caudal de ar QQ do trecho de menor temperatura que elimina o acréscimo para tais condições, resulta a expressa pela equação (3.24) e a maior redução de temperatura t_f pela equação (3.25).

$$QQ_{i1-f} = \frac{q(t_i - t_f + \Delta t_{i-f})}{t_f - t_{i1}} \quad (3.24)$$

$$t_f = \frac{Q_{i-f}(t_i + \Delta t_{i-f}) + QQ_{i1-f}(t_{i1})}{Q_{i-f} + QQ_{i1-f}} \quad (3.25)$$

Se $t_f \leq t_m$, onde t_m é a temperatura máxima permitida pelos padrões (em Portugal 31 °C), a solução será a melhor..

Se: $t_{i1} > t_i$ ou $(t_{i1} + \Delta t_{i1-f}) > (t_i + \Delta t_{i-f})$, as condições: $\Delta t_{i-f} = 0$, $Q_{i1-f} = q$ e $Q_{i-f} / S_{i-f} \leq 8$ m/s

Onde S_{i-f} a secção da abertura do trecho $i-f$ (m^2), pelo que o caudal de ar QQ do trecho de menor temperatura que elimina o acréscimo para tais condições, é neste caso a expressa pela equação (3.26).

$$t_f = \frac{Q_{i1-f}(t_i + \Delta t_{i1-f}) + QQ_{i-f}(t_i)}{Q_{i1-f} + QQ_{i-f}} \quad (3.26)$$

Nas equações (3.24) a (3.26), t_f é previamente calculado com os acréscimos dos trechos de conjunção e os caudais podem ser expressos em função da velocidade $Q = V.S$.

A condição de melhoria de t_f menor do que o máximo, é possível obter no caso em que a velocidade do ar V é permitido pelas normas ($0.2 \text{ m/s} < V < 8 \text{ m/s}$ em Portugal). Assim:

$$t_f = \frac{q(t_i + \Delta t_{i-f}) + V_{i1-f}.S_{i1-f}(t_{i1} + \Delta t_{i1-f})}{q + V_{i1-f}.S_{i1-f}} \quad (3.27)$$

$$\text{ou } t_f = \frac{V_{i-f}.S_{i-f}(t_i + \Delta t_{i-f}) + q(t_{i1} + \Delta t_{i1-f})}{V_{i-f}.S_{i-f} + q} \quad (3.28)$$

b) *Modelação do comportamento térmico no trecho longitudinal*: o local objecto da modelação é o acesso principal à frente de exploração CO547GAM da área Corvo, tendo como base as equações (3.6), (3.10), (3.11), (3.15) e (3.16). Com os valores $t_{25} = 28$ °C, $\lambda = 0.1837 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$, $P = 20.96 \text{ m}$, $h_1 = 659.30 \text{ m}$, $h_{\text{cn}} = 30 \text{ m}$, $\alpha = 0^\circ$, $g_g = 30.30 \text{ m/°C}$, $\rho_a = 1.1774 \text{ kg/m}^3$, $C_e = 1.0057 \text{ KJ/kg} \cdot \text{°C}$, $f_m \cdot f_t = 0.032$, $q_d = 2.9 \text{ kW/kW}$, $P_d = 204 \text{ kW}$, $C_e = 342 \text{ kJ/kg}$, $e_u = 342 \text{ kg ANFO/ dia-frente}$ e $S = 27.56 \text{ m}^2$; as equações particulares em função do caudal e velocidade resultam nos apresentados a seguir e ilustrados na fig.3.16.

$$t_{26} = 28 + [20.461/(1 + 2.97Q_{25-26})] + 29.025/Q_{25-26} \quad e$$

$$t_{26} = 28 + [20.461/(1 + 81.853V_{25-26})] + 1.0532/V_{25-26}$$

Para a simulação da influência da potência do motor do equipamento diesel explosivo ANFO à temperatura t_{26} , as equações particulares indicam-se a seguir e os resultados ilustram-se na fig. 3.17.

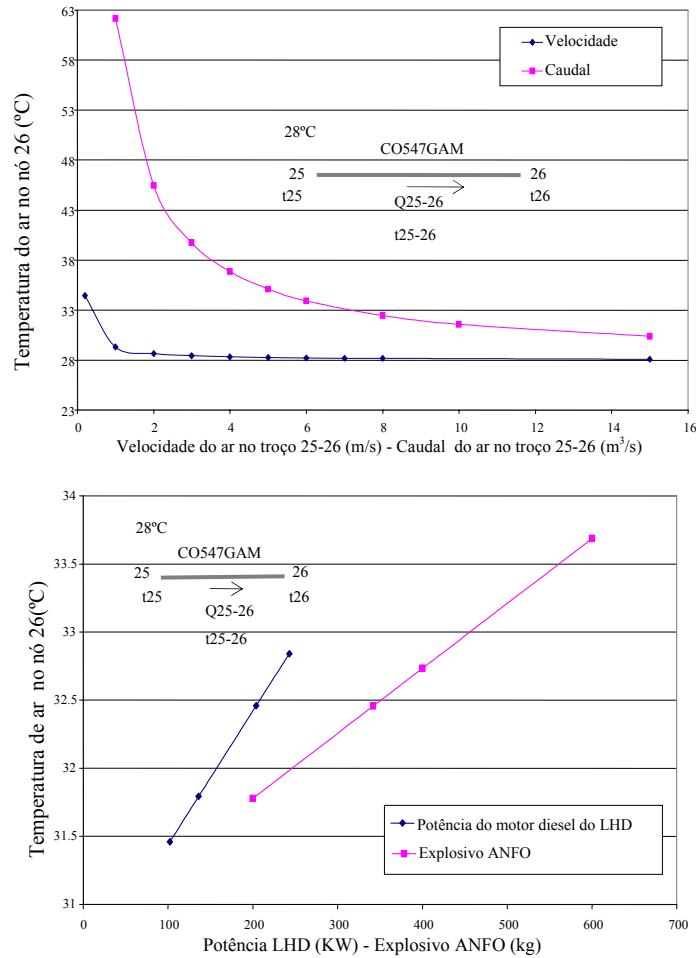


Figura 3.16 – Tendência da temperatura no nó 26 do trecho 25-26 no desmonte C0547GAM da área Corvo em função da velocidade, caudal, potência de motor diesel do LHD e explosivo ANFO

Dos resultados das simulações conclui-se que:

O *acrécimo* da temperatura é muito mais sensível com a diminuição do caudal do que a variação da velocidade do ar. Um alto acréscimo da temperatura nota-se para caudais menores de 10 m³/s e velocidades <1 m/s, sendo que, as altas velocidades não produzem praticamente decréscimo da temperatura;

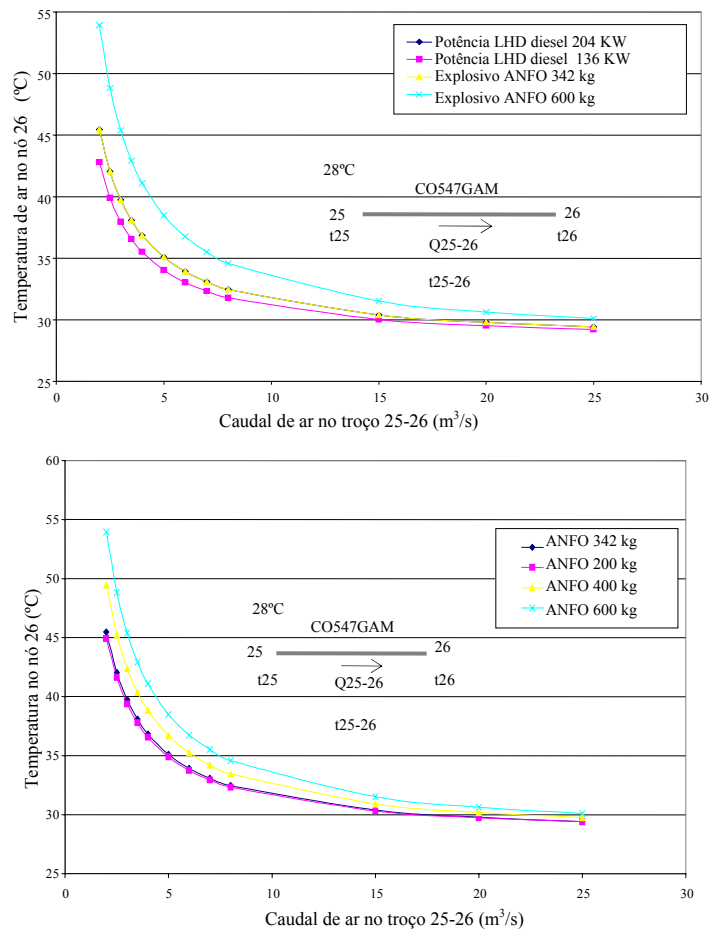


Figura 3.17 – Tendência da temperatura no nó 26 do trecho 25-26 no desmonte C0547GAM da área Corvo em função do caudal, potência de motor diesel do LHD e explosivo ANFO

A maior potência de motor do equipamento diesel e a maior quantidade de explosivo, dão origem a maior temperatura;

A influência no acréscimo da temperatura produzida pela potência do motor do equipamento diesel e pela quantidade de explosivo, é maior quanto menor (<10 m³/s) é o caudal do ar e menor quanto maior o caudal.

$$t_{26} = 30.46 + 9.797^{-3} P_d \quad \text{e} \quad t_{26} = 30.826 + 4.7556^{-3} e_u$$

Portanto neste caso a velocidade do ar não constitui uma referência importante para avaliar o impacto térmico e consequentemente as condições de conforto nestes casos. O parâmetro mais representativo é o caudal de ar.

Baseado nos resultados das simulações e nas equações (3.15) e (3.16), com as condições do meio dentro das margens definidas pelos padrões existentes, podem-se obter equações que permitam mitigar ou diminuir a temperatura a níveis permitidos.

A máxima redução de temperatura t_f , é quando se fornece maior caudal de ar Q_m (m^3/s) até uma velocidade máxima permitida V_m (8 m/s no caso de Portugal) para uma secção de abertura S_{i-f} (m^2) e para situações técnicas e económicas viáveis. Nestas condições a equação para determinar este caudal está enunciada pela equação (3.29).

$$Q_{i-f} = Q_m = V_m \cdot S_{i-f} \quad (3.29)$$

Se $t_f \leq t_m$, onde t_m é a temperatura máxima permitida pelos padrões, no caso de Portugal 35 °C, a solução será a melhor..

A condição de melhoria de t_f , é possível quando a velocidade do ar V (m/s) é $0.2 \text{ m/s} < V < 8 \text{ m/s}$ (no caso de Portugal) para um caudal mínimo permitido pelos padrões q .

$$Q_{i-f} = q \quad (3.30)$$

c) *Modelação do comportamento térmico em ambientes com ramificação: para circuitos típicos com disjunção de ramais de um nó inicial de outro ramal*, o modelo matemático unificado é baseado nas equações (3.6), (3.10), (3.11), (3.17), (3.18) e (3.19). O local escolhido é a disjunção típica da rampa NRAM02 da área de Neves (fig. 3.18).

As propriedades do ar à temperatura de 23 °C obtidas da Tabela 2.2 são: $\rho_a = 1.1955 \text{ kg/m}^3$, $C_e = 1.0057 \text{ KJ/kg.}^\circ\text{C}$, $\mu = 16.27 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $K = 0.02554 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ e $Pr = 0.709$. Com as equações (2.8) e (2.9), tem-se $\lambda = 3.88 \text{ W/m}^2.^\circ\text{C}$ para o trecho 51-51A e $\lambda = 1.83 \text{ W/m}^2.^\circ\text{C}$ para o trecho 51-65 e sabe-se que neste local subterrâneo $\Delta t_{ed} = 0$, $\Delta t_{ex} = 0$ e $\Delta t_h = 0$ (zona não produtiva).

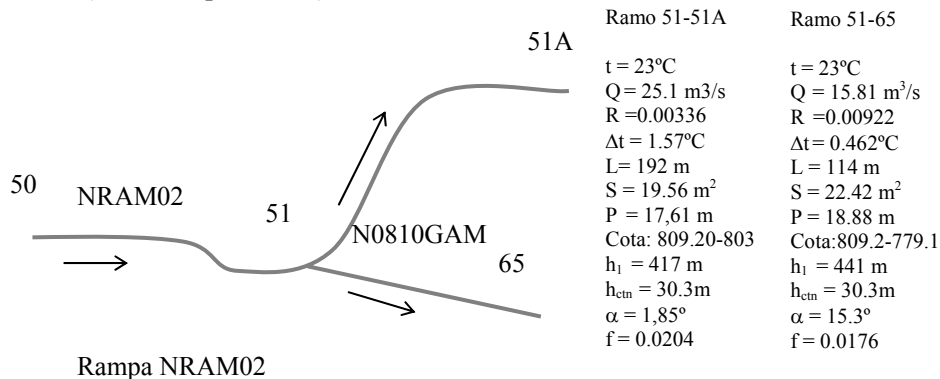


Figura 3.18 – Disjunção típica na Rampa NRAM02 da área de Neves

Com todos os parâmetros indicados as expressões matemáticas particulares em função das variáveis térmica, volumétrica e dinâmica, resultam como o apresentado em seguida e o resultados da simulação estão ilustrados na fig. 3.19, fig. 3.20 e fig. 3.21.

$$t_{51A} = 24 - (Q_{51-65}/Q_{51-51A})/68.57(5.46 + Q_{51-65}), \quad t_{51A} = 24 - (V_{51-65}/V_{51-51A})/78.6(5.46 + 22.42V_{51-65})$$

$$t_{65} = 24 - (Q_{51-51A}/Q_{51-65})/20.58(1.64 + Q_{51-51A}), \quad t_{65} = 24 - (V_{51-51A}/V_{51-65})/17.95(1.64 + 19.56V_{51-51A})$$

Os resultados das simulações permitem as seguintes conclusões:

- Quanto maior caudal de ar no ramal de maior comprimento (51-51A), maior acréscimo da temperatura no nó final (51A) e vice-versa. É interessante observar que existe alta sensibilidade da temperatura quando o caudal é baixo (<10 m³/s), com tendência à estabilização para caudais maiores.
- Quanto maior caudal no ramal de menor comprimento (51-65), maior decréscimo da temperatura no nó deste ramal (65) e decréscimo no outro ramal (51-51A), também com alta sensibilidade para caudais baixos (<10 m³/s) e posterior tendência à estabilização.

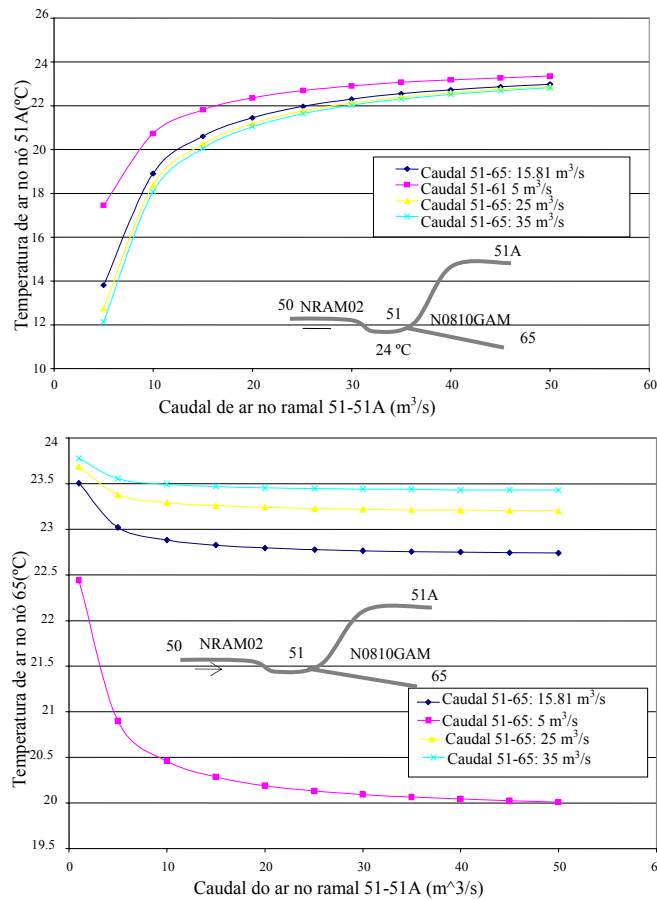


Figura 3.19 – Tendência da temperatura nos nós 51A e 65 na rampa NRAM02 da área Neves, em função do caudal do trecho 51-51A

- Quando a velocidade do ar é maior existe pouca sensibilidade da temperatura. Para velocidades baixas (1 a 0.2 m/s) num ramal ou outro, as temperaturas são sensíveis à variação da velocidade. Neste caso, também a *velocidade do ar* não é uma referência significativa para avaliar o impacto térmico e consequentemente as condições de conforto.

As conclusões permitem desenvolver um modelo matemático para as medidas de correção com base as equações (3.17) e (3.19) e as restrições dos padrões ou normas.

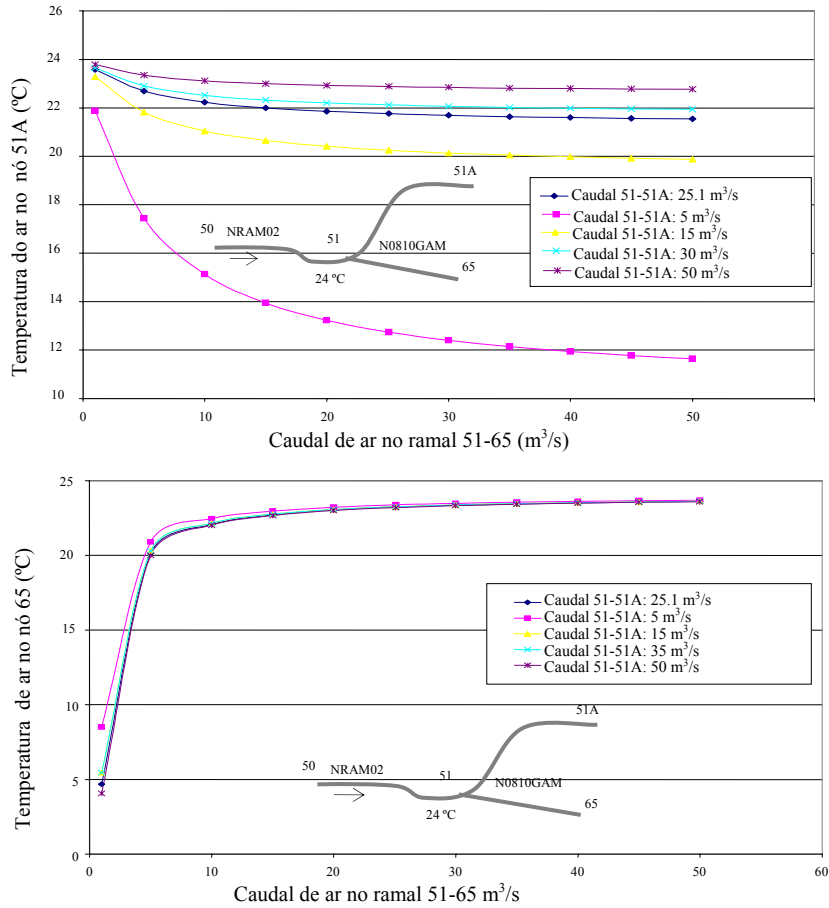


Figura 3.20 – Tendência da temperatura nos nós 51A e 65 na rampa NRAM02 da área de Neves, em função do caudal do 51-65

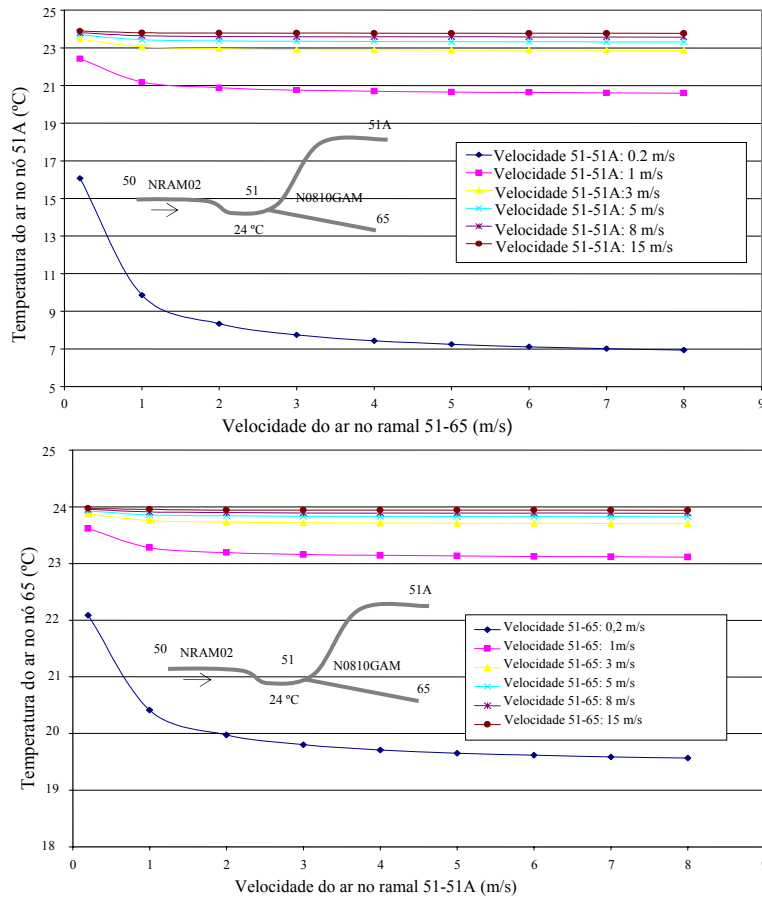


Figura 3.21 – Tendência da temperatura nos nós 51A e 65 na rampa NRAM02 da área de Neves, em função da velocidade nos ramais 51-65 e 51-51A

A máxima redução de temperatura no fim dum ramal (t_f ou t_{f1}), é quando se fornece o menor caudal de ar, q (m^3/s), admitido pelos padrões no trecho de maior acréscimo de temperatura desde que a velocidade do ar no ramal de menor acréscimo seja menor que a velocidade máxima permitida V_m (8 m/s em Portugal) para uma secção da abertura S_{i-f} ou S_{i-f1} (m^2). Para estas condições resultam as equações (3.31) e (3.32).

$$\text{Se } \Delta t_{i-f} > \Delta t_{i-f1}: t_f = t_i - \Delta t_{i-f1} \left(\frac{Q_{i-f1}}{q} \right) \text{ e } t_{f1} = t_i - \Delta t_{i-f} \left(\frac{q}{V_m \cdot S_{i-f1}} \right) \quad (3.31)$$

$$\text{Se } \Delta t_{i-f1} > \Delta t_{i-f}: t_f = t_i - \Delta t_{i-f1} \left(\frac{q}{V_m \cdot S_{i-f}} \right) \text{ e } t_{f1} = t_i - \Delta t_{i-f} \left(\frac{Q_{i-f}}{q} \right) \quad (3.32)$$

Nos incrementos de temperatura Δt_{i-f} e Δt_{i-fl} devem-se considerar os caudais correspondentes. Se t_f ou $t_{fl} \leq t_m$, onde t_m é a temperatura máxima permissível pelos padrões (35 °C em Portugal), a *solução será a melhor*.

A *condição de melhoria de t_f ou t_{fl}* , acontece quando a velocidade do ar no trecho de menor acréscimo de temperatura resulte $< V_m$ (8 m/s em Portugal); portanto os caudais nestes ramais deverão ser no máximo $V \cdot S_{i-f}$ ou $V \cdot S_{i-fl}$ segundo o caso e que a velocidade do ar V (m/s) $0.2 \text{ m/s} < V < 8 \text{ m/s}$ (segundo a norma Portuguesa). Para o cálculo com estes caudais de ar para condições de melhoria, devem-se usar as mesmas equações 3.31 e 3.32.

O parâmetro térmico base considerado no desenvolvimento do modelo matemático para a avaliação do impacto ambiental e para a procura de medidas de correcção é a *temperatura seca*, mas a humidade relativa constitui também um parâmetro importante na obtenção do conforto ambiental, cuja determinação pode ser efectuada utilizando a equação (3.33), em que Hr é a humidade relativa (%), P_b é a pressão barométrica (kPa), t_s : a temperatura seca (°C) e t_h a temperatura húmida (°C).

$$Hr = \frac{0.6105e^{\frac{17.27t_h}{t_h+273.3}} - 0.00036P_b(t_s - t_h)}{0.6105e^{\frac{17.27t_s}{t_s+273.3}}} \cdot 100 \quad (3.33)$$

3.1.5.3. Para grandes profundidades

Como já foi dito, quando aumenta a profundidade aumenta também a temperatura do ar na atmosfera subterrânea, principalmente devido ao grau geotérmico da rocha virgem, sendo que, até uma temperatura do ar à volta da máxima admissível (VMA) é possível atenuar com ar de ventilação, e, ultrapassado este valor máximo são necessários precisa-se sistemas de refrigeração (fig. 3.22).

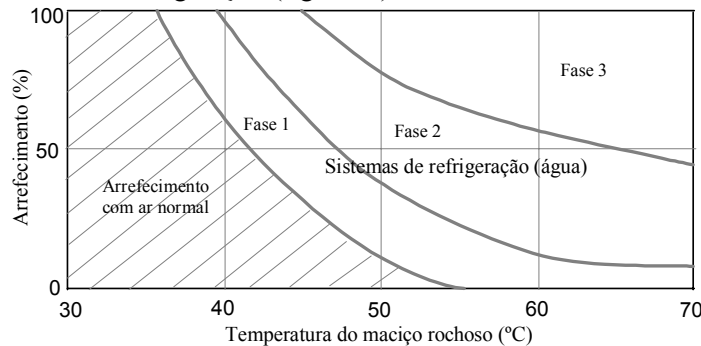


Figura 3.22 – Acondicionamento do ar em *South African Gold Mines* em função da temperatura do maciço rochoso (Hartman, H.L. et al., 1982)

No presente estudo, desenvolve-se a engenharia ambiental relacionada a minas não profundas, onde seja ainda possível resolver os problemas de impacto ambiental térmico mediante sistemas de ventilação, embora a seguir se apresenta este tema de maneira referencial.

Existem vários procedimentos de arrefecimento da atmosfera subterrânea e um dos métodos muito utilizados é o processo de refrigeração (fig. 3.23), que consiste em quatro processos básicos: *Evaporação* (estado de ebulição do refrigerante, troca de estado predominantemente líquido do que gás e absorção de calor), *compressão* (o refrigerante flui no estado de vapor ao compressor onde é comprimido), *condensação* (o refrigerante passa outra vez ao estado líquido liberando calor ao exterior, existindo troca de temperatura) e *expansão* (temperatura e pressão do líquido desce durante a expansão e o refrigerante completa o ciclo).

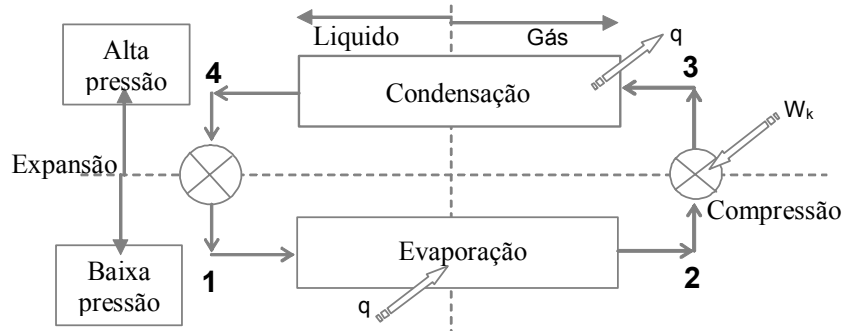


Figura 3.23 – Processo de refrigeração em minas subterrâneas profundas

A termodinâmica do processo de refrigeração (fig. 3.24) pode ser expressa mediante as equações a seguir:

Evaporação: $q_E = h_2 - h_1$, BTU/lb (kJ/kg), temperatura e pressão constante.

Compressão: $W_k = h_3 - h_2$, BTU/lb (kJ/kg), aproximadamente isotrópico, reversível, adiabático, entropia próximo a constante.

Condensação: $q_C = h_3 - h_4$, BTU/lb (kJ/kg), pressão e temperatura constantes.

Expansão: $h_1 = h_4$, $q_{EX} = 0$

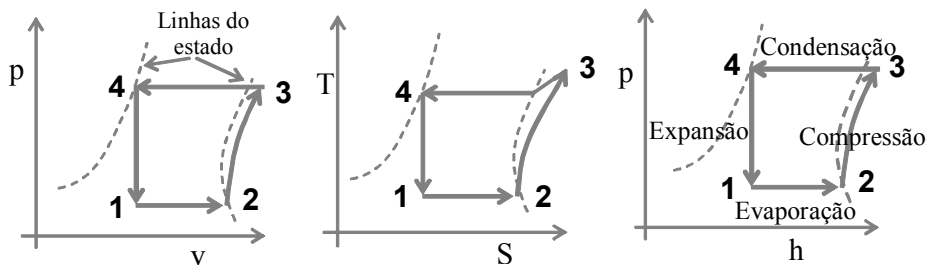


Figura 3.24 – Processos termodinâmicos de refrigeração (Hartman, H.L., et al. 1992)

3.1.6. Monitorização e controle

Em todo trabalho de avaliação do ambiente subterrâneo, são determinantes as medições dos parâmetros ambientais, para o qual existem diversos tipos de aparelhos (Tabela 3.12).

Tabela 3.12 – Aparelhos utilizados para medições de parâmetros térmicos no ambiente subterrâneo (baseado em Hartman, H.L. et al., 1992)

Aparelho	Parâmetro de medição	Parâmetros consequentes
Psicrômetro	Temperatura húmida (°C) Temperatura seca (°C)	Humidade relativa (%) Temperatura efectiva (°C)
Barómetro (digital)	Pressão barométrica (mbar)	Temperatura operativa (°C)
Anemómetro	Velocidade do ar (m/s)	
Kata termómetro	Temperatura húmida (°C) Temperatura seca (°C) Tempo de arrefecimento (s)	Energia de arrefecimento (mcal/cm ² .s)

Um aspecto importante nas medições térmicas é a calibração dos aparelhos e a realização as medições em condições indicadas pelos fabricantes, de modo que permita obter informações realistas e confiáveis.

Estes aparelhos são muito conhecidos e usados nas medições da temperatura no ambiente subterrâneo, pelo que maiores detalhes serão possível obter na bibliografia ou no catálogo do fabricante.

A engenharia da temperatura no ambiente subterrâneo é um sistema de gestão adequado para conseguir uma conservação do ambiente subterrâneo dentro da qualidade exigida pelos padrões existentes, como é ilustrado na figura 3.25, que é uma sequência sistemática da gestão da temperatura no ambiente subterrâneo incluindo a parte de monitorização e controle.

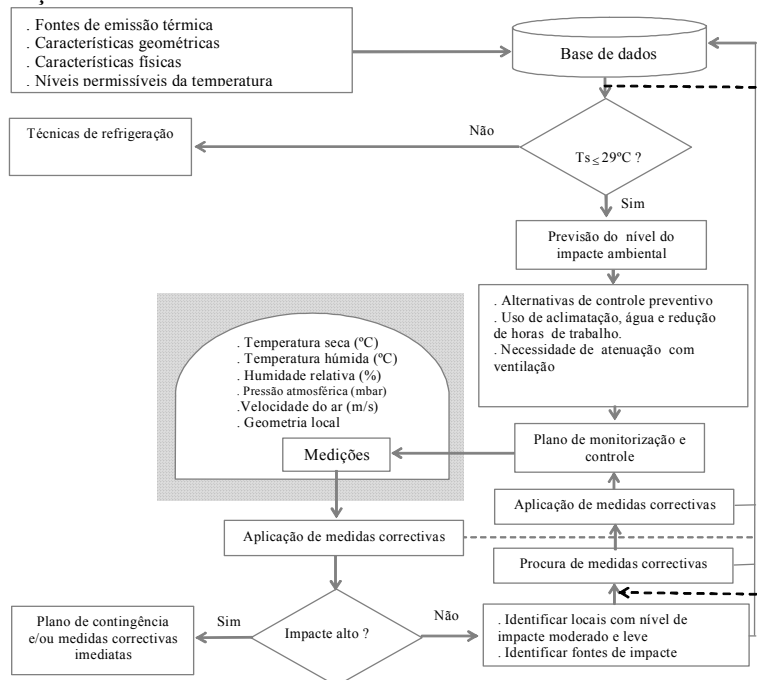


Figura 3.25 – Sistema de gestão da temperatura na atmosfera subterrânea

3.2. Gases Tóxicos no Ambiente Subterrâneo

3.2.1. Efeitos de gases no ambiente subterrâneo

A composição natural de gases no ar da atmosfera exterior (Tabela 3.13) é predominantemente nitrogénio (78.08%), seguido por oxigénio (20.95%), por Árgon (0.93%), por dióxido de carbono (0.03%) e outros gases em percentagem restante (0.01%).

Tabela 3.13 – Composição de gases no ar natural atmosférico exterior

Gás natural	Composição em volume	
	%	ppm
Nitrogénio (N ₂)	78.08	780800
Oxigénio (O ₂)	20.95	209500
Árgon (A)	0.93	9300
Dióxido de carbono (CO ₂)	0.03	300
Outros	0.01	100

Tabela 3.14 – Símbolo e massa volúmica dos gases presentes no ambiente subterrâneo

Nome dos gases	Símbolo	Massa volúmica (kg/m ³)
Oxigénio	O ₂	1.1056
Nitrogénio	N ₂	0.9673
Dióxido de carbono	CO ₂	1.5291
Monóxido de carbono	CO	0.9672
Dióxido de azoto	NO ₂	1.5895
Óxido de azoto	NO	1.0400
Ácido sulfídrico	H ₂ S	1.1912
Anidrido sulfuroso	SO ₂	2.2636
Metano	CH ₄	0.5545

A composição gasosa do ar da atmosfera subterrânea é alterada por factores operacionais e factores hidrogeológicos. O oxigénio pode diminuir até 18% (180000 ppm), o CO₂ aumentar e agregarem-se outros gases e partículas sólidas.

Os gases mais comuns no ar do ambiente subterrâneo são: O₂, N₂, CO₂, CO, NO_x, H₂S, SO₂ e CH₄ (Tabela 3.14), que em determinadas concentrações constituem poluentes importantes.

Os gases presentes no ar do ambiente subterrâneo em certas concentrações não são nocivos mas, à medida que aumentam ou diminuem ou que ocorre uma exposição prolongada (fig. 3.26), originam efeitos negativos para a saúde e inclusivamente podem provocar a morte (Tabela 3.15).

Actualmente existe um processo crescente de mecanização no ambiente subterrâneo com intensa utilização de equipamentos com o motor diesel.

Os produtos finais da combustão do óleo diesel nos cilindros do motor quando lançados na atmosfera subterrânea, ao atingirem determinadas concentrações, causam no ser humano doenças como o cancro e até mesmo a morte (Tabela 3.16).

Tabela 3.15 – Efeitos provocados pela alteração da composição gasosa do ar no ambiente subterrâneo (Banerjee, S.C., 2000; Kiessel, F.N., 1996; Vutukuri, V.S., et al., 1986)

Gás	% no Ar	Características físicas	Efeitos
O ₂	17 15 9 7 6	Incolor, inodoro e insípido	Enjoo, aumento da palpitação do coração Vertigem, zumbido nos ouvidos, rápida palpitação Desmaio, inconsciência Perigo de morte Convulsões e morte
CO ₂	<0.5 3 5 10 20-25	Incolor, inodoro, e com sabor ligeiramente ácido	Inofensivo Aumento da frequência da respiração Intensificação (3 vezes) da respiração Estado de coma Morte em poucos segundos
CO	0.01 0.40 1	Incolor, inodoro e insípido	Doença crónica grave Perigo de morte Morte em poucos minutos
NO ₂ NO	<5 ppm 60 ppm 100 ppm 100–150 ppm 200-700 ppm	NO ₂ avermelhado NO incolor	Inofensivo para a saúde Irritação da garganta Tosse intensa Dor de cabeça, vômitos e perigo de morte Morte em poucos segundos
H ₂ S	0.025 ppm 0.005- 0.010% 0.02 – 0.07% 0.07 – 0.10% 0.10%	Incolor, odor a ovo podre e sabor açucarado	Forte cheiro Irritação nos olhos e vias respiratórias depois de 1 hora Aumento irritação nos olhos, dor de cabeça, náuseas, vômitos, ardor no nariz, dor na garganta e peito Inconsciência, perda da respiração e morte Morte em poucos minutos
SO ₂	20 ppm 50 ppm 400 – 500 ppm	Incolor, sufocante, odor forte a sulfuroso, inflamável	Irritação nos olhos, nariz e peito Aumento da irritação dos olhos, peito e pulmões, problemas na respiração depois de vários minutos Morte instantânea
CH ₄	> 5.3 %	Incolor e inodoro	Não é venenoso. Inflamável e explosivo

Tabela 3.16 – Efeitos na saúde humana pela emissão de equipamentos diesel no ambiente subterrâneo (baseado na Tabela 3 e Vutukuri, V.S., et al., 1986)

Componente	Efeitos	Componente	Efeitos
CO ₂	Morte (20 – 25%)	NO ₂	Morte (200 – 700 ppm)
SO ₂	Morte (400 – 500 ppm)	Hidrocarbonetos	Cancerígeno
CO	Morte (1%)	Aldeídos	Risco leve
NO	Morte com 200 – 700 ppm	Partículas	Cancerígeno

3.2.2. Fontes de gases no ambiente subterrâneo

Os gases identificados na atmosfera subterrânea são geralmente O₂, N₂, CO₂, CO, NO₂, NO, H₂S, SO₂ e CH₄ cujas fontes de produção estão relacionadas com factores operacionais e hidrogeológicos (Tabela 3.17), explosões e incêndios, desmonte de rochas (explosivo), decomposição de substâncias orgânicas, operação de equipamentos com motor de gasóleo, água subterrânea, carvão e minerais com enxofre.

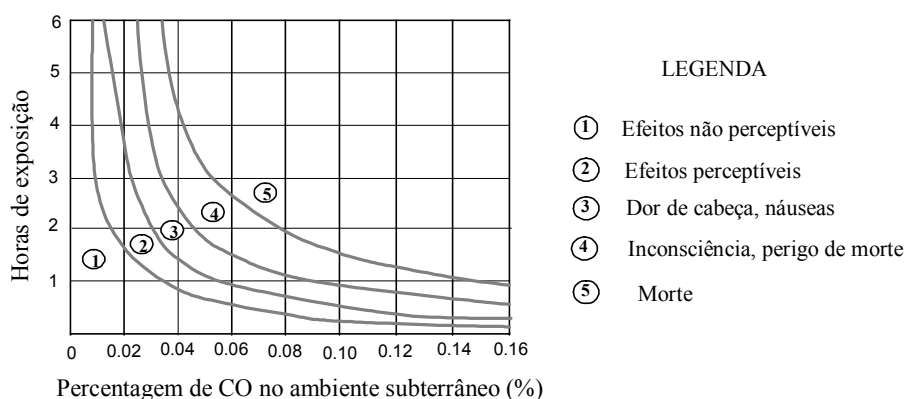


Figura 3.26 – Efeitos da exposição ao monóxido de carbono CO (Hartman, H. L., et al., 1982)

A Tabela 3.17 mostra que o gás que tem maiores fontes é o CO, seguido por CO₂, H₂S, NO e NO₂ e finalmente SO₂.

Tabela 3.17 – Fontes de geração de gases no ambiente subterrâneo

Gás	Carvão	Ar natural	Incêndio	Explosão de grisu e pó de carvão	Desmonte de rochas (explosivo)	Apodrecimento de substâncias orgânicas	Equipamentos com motor diesel	Água subterrânea	Mineral com enxofre
O ₂		|||||							
N ₂		|||||							
CO ₂			|||||	|||||			|||||		
CO			|||||	|||||	|||||	|||||	|||||		
NO ₂					|||||	|||||	|||||		
NO					|||||	|||||	|||||		
H ₂ S						|||||		|||||	|||||
SO ₂							|||||		|||||
CH ₄	|||||								

A combinação dos gases entre eles e/ou com o ar (O_2) criam condições de risco ambiental seguintes:

$CO + CO_2 + CH_4 + O_2 + N_2 + H_2$	: inflamável, explosivo, asfixiante
$CH_4 + ar$	: explosivo
$CO_2 + N_2 + ar$	: asfixiante
$CO + ar$	: asfixiante
$CO_2 + CH_4$	: asfixiante, explosivo
$H_2S + ar$	: irritante, venenoso

As fontes de gases poluentes de maior importância são relacionadas com a operação de equipamentos *com motor diesel* (fig. 3.27) devido a uma emissão contínua e paralela à presença do homem.

Os gases produzidos pelo *desmonte de rochas* são muito importantes quando o sistema de ventilação é deficiente, mas quando existe um caudal adequado de ar, estes gases são evacuados e diluídos, geralmente no momento em que o homem não está presente no ambiente de trabalho (fim de turno).

Em minas de carvão, o metano é a fonte de poluição gasosa de maior importância e pode provocar explosões e incêndios com a consequente produção de gases tóxicos.



Figura 3.27 – Emissão de gases por equipamentos com motor diesel no ambiente subterrâneo

As emissões de gases por motores diesel incluem os Hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO), gases de nitrogênio (NO_x) e partículas (PM), cuja quantidade ou concentração depende das características do motor, qualidade do combustível e uso de sistemas de controle (Tabela 3.18).

Tabela 3.18 – Emissões de motores diesel (http://www.nett.ca/faq_diesel.html#q1)

CO	HC	PM	NO_x	SO_2
ppmv	ppmv	g/m^3	ppmv	ppmv
5-1500	20-400	0.1-0.25	50-2500	10-150

No caso dos motores diesel acontece que umas características que consigam diminuir a emissão de partículas (PM) ocasiona um acréscimo na emissão de NO_x (fig. 3.28 esquerda) porque é necessário uma melhor e mais completa combustão, com o consequente aumento aquecimento dos cilindros e a formação de gases NO_x, já que a formação do NO_x está em função da variação do oxigênio e da temperatura.

A emissão de partículas, expulsas do tubo de exaustão do motor (fig. 3.28 direita) é produto da combustão do óleo diesel e do lubrificante dentro dos cilindros do motor e aquelas são formadas pelo processo de aglomeração, condensação, adsorção e intercâmbio de viscosidade.

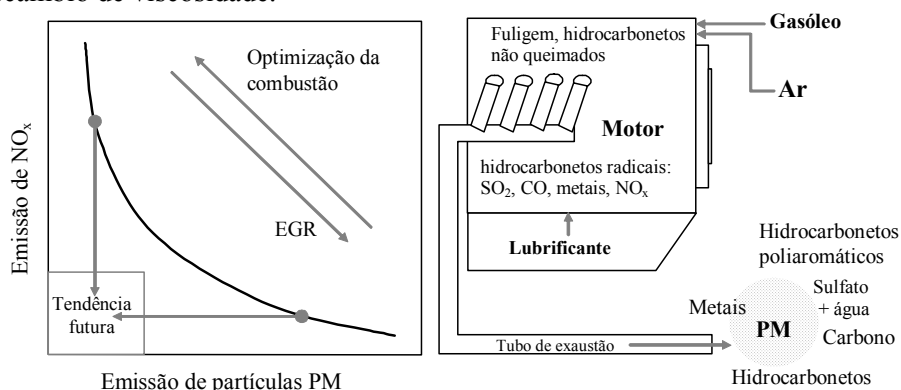


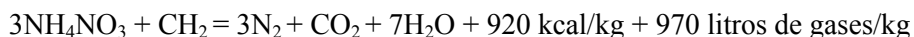
Figura 3.28 – Emissão de gases e partículas pelos motores diesel (ESI International, 1999)

3.2.3. Caracterização de gases no ambiente subterrâneo

3.2.3.1. Gases tóxicos produto do desmonte de rochas com explosivo

Os gases resultantes do desmonte de rochas com explosivo são principalmente são o CO₂, CO, N₂ e fumos, dependendo do tipo de explosivo utilizado, presença de água e o equilíbrio no sistema da composição química.

A reacção da decomposição do ANFO num sistema equilibrado em oxigênio é expressa na equação química a seguir:



Esta composição química corresponde a uma percentagem de 95.3 % de nitrato de amónio (NH₄NO₃) e 5.7% de óleo diesel (CH₂). Esta proporção em peso corresponde para 50 kg de NH₄NO₃ 3.7 litros de óleo diesel (CH₂) e no processo da explosão produz 970 litros de gases e 920 kcal por cada quilograma de ANFO.

Um aumento de óleo diesel na proporção de ANFO origina desequilíbrio de oxigênio e como consequência a produção do gás tóxico CO. Contrariamente o decrescimento de óleo diesel gera a produção dos gases NO e NO₂ (fig. 3.29).

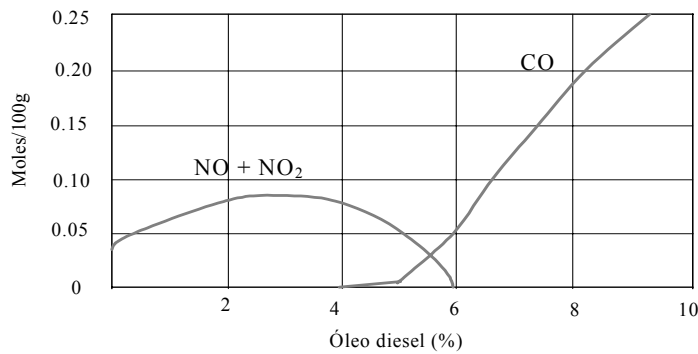
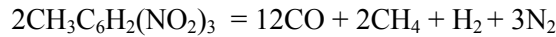


Figura 3.29 – Produção de gases tóxicos ao variar o óleo diesel na composição do ANFO (López Jimeno, C., 1997)

No caso de se utilizar a nitroglicerina NG (tipos de dinamites), a reação química da detonação resulta:



A explosão de 1 g-mol de NG gera $29/4 = 7.25$ g/mol de produtos gasosos a 0°C e a pressão atmosférica, pelo que o volume de gases na explosão é igual a 7.25 g-mol \times 22.4 l/g-mol = 162.4 litros de gás.

A concentração dos gases CO_2 e CO produzidos no desmonte de rochas com uso de explosivo, para condições da expulsão dos gases em frente de avanço com comprimento de 50 m, em função de n que é a percentagem (em forma decimal) de carbono no explosivo e ρ_e que é a massa volúmica do explosivo (kg/m^3) é calculada pelas equações (3.34) e (3.35) (López Jimeno, C., 1997).

$$C_{\text{CO}+\text{CO}_2} = 0.0373n \cdot \rho_e \quad (3.34) \quad C_{\text{CO}} = 0.0125n \cdot \rho_e \quad (3.35)$$

A concentração inicial de gases produto de disparos com explosivo C_e (%) é dada pela equação (3.36), que considera a quantidade total do explosivo usado no disparo q_e (kg), a quantidade de gases formada pela detonação do explosivo g_e (m^3/kg), a secção da frente S (m^2) e a distância de expulsão dos gases no disparo L (40 m para frentes de exploração), relacionando-se por:

$$C_e = \frac{100q_e \cdot g_e}{L \cdot S} \quad (3.36)$$

3.2.3.2. Gases tóxicos produzidos pelos equipamentos com motor diesel

A constante tendência da mecanização nos trabalhos de escavação de túneis e explorações mineiras subterrâneas obriga à intensa utilização de máquinas com motor diesel, o que cria condições de emissão de gases que, em determinadas concentrações, se tornam perigosos para o ambiente e a saúde humana.

As emissões dos motores diesel incluem os hidrocarbonetos (HC), o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogénio (NO_x) e a matéria em forma de partículas (PM).

Os compostos tóxicos, como os hidrocarbonetos poliaromáticos (PAH), também são encontrados na exaustão dum motor diesel e podem ser associados com as emissões do PM e do HC. As emissões típicas dum motor diesel usado na mineração subterrânea são as que se mostram na Tabela 3.19.

Tabela 3.19 – Emissões de motores diesel Deutz BF 4M 1012C (Deutz Corporation, 1997)

CO	HC	PM	NO _x	SO ₂
g/kw.h	g/kw.h	g/kw.h	g/kw.h	g/kw.h
1.25	0.38	0.171	7.50	-

O caudal total da emissão de gás Q_{ge} (m³/s) é expresso pela equação (3.37) em função da potência do motor P_e (KW) e caudal de gás expulso por um (1) KW de potência de motor diesel q_g (m³/s.KW) que toma um valor de aproximado de 0.0006 m³/s.KW, sendo:

$$Q_{ge} = q_g P_e \quad (3.37)$$

Os factores que afectam a emissão de gases nos equipamentos com motor diesel usados no ambiente subterrâneo são: potência do motor, características e factores operacionais, altitude, aditivos de combustível, manutenção, tipo de injeção (directa ou indirecta). A alimentação forçada de ar (turbo) influencia ligeiramente na emissão do NO e NO₂.

O CO₂, como já se indicou anteriormente, em certas concentrações torna-se tóxico, pelo que nestas condições também é um poluente.

O CANMET (*Canadian Centre for Mineral and Energy Technology*) propôs a utilização do índice AQI (*Air Quality Index*), que com modificação realizada por *French and Associates* está expressa pela equação (3.38), onde VLA representa valor limite admissível para cada tipo de gás. Um AQI menor ou igual a 3 indica a existência dum excesso de concentração em algum dos gases, portanto um risco ambiental.

$$AQI_{gas} = \frac{CO}{VLA_{CO}} + \frac{NO}{VLA_{NO}} + \frac{NO_2}{VLA_{NO_2}} \quad (3.38)$$

Com base na equação (3.38) e para todos os gases tipicamente presentes no ambiente subterrâneo o índice de qualidade do ar em relação aos gases poluentes (IQA_g), resulta a equação (3.39).

$$AQI_g = \frac{VLA_{O_2}}{O_2} + \frac{CO}{VLA_{CO}} + \frac{CO_2}{VLA_{CO_2}} + \frac{NO_x}{VLA_{NO_x}} + \frac{SO_2}{VLA_{SO_2}} + \frac{H_2S}{VLA_{H_2S}} \quad (3.39)$$

Nesta equação cada termo é referido a um gás, que no caso de que todos os gases estejam abaixo do VMA o Índice de Qualidade do Ar (AQI_g) poderá tomar um valor menor ou igual a 6 e no caso de que exista contaminação ambiental por algum componente o AQI_g toma valores maiores que 6 (para seis tipos de gás).

Portanto, no caso de se obter um índice superior a 6, deve-se proceder à identificação do gás ou gases que possuam um índice superior a 1, já que este ou estes é ou são responsáveis pela contaminação do ambiente.

A equação (3.39) constitui um indicador importante para identificar o risco ambiental provocado pela presença de gases. Esta equação não inclui o gás metano, pois pelas suas características de explosividade e inflamabilidade estão considerados no item dedicado a explosões e incêndios.

3.2.4. Normas e padrões de qualidade do ar da atmosfera subterrânea por causa dos gases

Os limites permissíveis da presença de gases em trabalhos subterrâneos, estão actualmente considerados dentro do campo da saúde e segurança do trabalho, pelo que existem normas e regulamentações em diversos países do mundo.

Nos E.U.A. os padrões de saúde e de segurança ocupacional, a nível federal, são padronizados por duas agências que estão dentro do Departamento do Trabalho: a OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) que é responsável pelo ambiente ocupacional em geral e a MSHA (*Mine Safety and Health Administration*) que é responsável pelo ambiente ocupacional em minas.

Os valores limites admissíveis TLV (*Threshold Limit Values*) dos componentes físico-químicos são publicados anualmente pela ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*).

Os valores limite admissíveis de exposição do homem aos poluentes gasosos estão expressos na Tabela 3.20 e resumidos na Tabela 3.21.

Os resultados dos TLVs são desenvolvidos como recomendações ou guias pela ACGIH para serem usados na prática da higiene industrial. Formalmente, não são padrões legais. Entretanto, as autoridades que legislam seguem as recomendações da ACGIH nas suas actividades de elaboração de leis.

Tabela 3.20 – Limites permissíveis de exposição a gases em 8 Horas TWA (*Time Weighted Averages*) e em curto tempo STEL (*Short Term Exposure Limit*) nos E.U.A.

Componente	OSHA (PEL)	MSHA (PEL)		NIOSH (PEL)
		Minas subterrâneas de carvão	Minas metálicas e não metálicas	
(CO ₂)	5000 ppm (9000 mg/m ³), 8-hr TWA [‡]	5000 ppm (9000 mg/m ³), 8-hr TWA; 30000 ppm (54000 mg/m ³), STEL [§]	5000 ppm (9000 mg/m ³), 8-hr TWA; 15000 ppm (27000 mg/m ³), STEL	10000 ppm (18,000 mg/m ³), 8-hr TWA; 30000 ppm (54000 mg/m ³), 10-min max
(CO)	50 ppm (55 mg/m ³), 8-hr TWA	50 ppm (55 mg/m ³), 8-hr TWA; 400 ppm (440 mg/m ³), STEL	50 ppm (55 mg/m ³), 8-hr TWA; 400 ppm (440 mg/m ³), STEL	35 ppm (40 mg/m ³), 8-hr TWA; 200 ppm (230 mg/m ³), max

Tabela 3.20 (cont.) – Limites permissíveis de exposição a gases em 8 Horas TWA (Time Weighted Averages) e em curto tempo STEL (Short Term Exposure Limit) nos E.U.A.

Componente	OSHA (PEL)	MSHA (PEL)		NIOSH (PEL)
		Minas subterrâneas de carvão	Minas metálicas e não metálicas	
Formaldehyde	1 ppm, 8-hr TWA; 2 ppm, 15-minute STEL	1 ppm (1.5 mg/m ³), 8-hr TWA; 2 ppm (3 mg/m ³), STEL	2 ppm (3 mg/m ³), max	0.016 ppm (0.020 mg/m ³), 8-hr TWA; 0.1 ppm (0.12 mg/m ³), 15-min max
(NO ₂)	5 ppm (9 mg/m ³), max	3 ppm (6 mg/m ³), 8-hr TWA; 5 ppm (10 mg/m ³), STEL	5 ppm (9 mg/m ³) max	1 ppm (1.8 mg/m ³), 15-min max
(NO)	25 ppm (30 mg/m ³), 8-hr TWA	25 ppm (30 mg/m ³), 8-hr TWA	25 ppm (30 mg/m ³), 8-hr TWA; 37.5 ppm (46 mg/m ³), STEL	25 ppm (30 mg/m ³), 10-hr TWA
(SO ₂)	5 ppm (13 mg/m ³), 8-hr TWA	2 ppm (5 mg/m ³), 8-hr TWA; 5 ppm (10 mg/m ³), STEL	5 ppm (13 mg/m ³), 8-hr TWA; 20 ppm (52 mg/m ³), STEL (5 min)	0.5 ppm (1.3 mg/m ³), 10-hr TWA

PEL: Limites Permissíveis à Exposição baseados nos TLVs

TWA : *Time Weighted Averages*, STEL: *Short Term Exposure Limit*

† Peso médio

§ Termo do limite da exposição

Tabela 3.21 – Padrões para gases da OSHA e a MSHA dos E.U.A., expressos em ppmv e para uma exposição de 8 horas

Gás	Processo no.	OSHA PEL	OSHA 88*	MSHA TLV	ACGIH TLV
CO	630-08-0	50	35	50	25
CO ₂	124-38-9	5000	5000	5000	5000
NO	10102-43-9	25	25	25	25
NO ₂	10102-44-0	(C) 5	1 ^d	5	3
HCHO	50-00-0	0.75			(C) 0.3 A2
SO ₂	7446-09-5	5	2	5 ^a / 2 ^b	2
* - PELs adoptados em 1988 e revisados depois a – Para minas metálicas e não metálicas b – Para minas de carvão			d – 15 minutos de tempo limite de exposição (STEL) (C) – Valor máximo A2 – Suspeita de cancro humano		

Os PELs da OSHA e os TLVs do MSHA são limites legalmente executáveis e os TLVs indicados pela ACGIH são recomendações para a higiene industrial. Todos os

valores limites admissíveis são para uma exposição média de 8 horas TWA (*time weighted averages*).

Nos E.U.A. o ar do ambiente subterrâneo onde trabalham pessoas deve conter pelo menos 19.5% de oxigénio, já em Portugal, o Decreto-Lei n.º 162/90 prescreve um teor mínimo de oxigénio na atmosfera subterrânea de 19%.

Estudos realizados por NIOSH (*National Institute of Occupational Safety and Health*) e o *Bureau of Mines Minneapolis* E.U.A.(1987) possibilitaram a obtenção de padrões (standards) (Tabela 3.22) para gases emitidos por equipamentos diesel em minas subterrâneas. Estes padrões estão relacionados com os índices FSEL (*Full - Shift Exposure Limit*) que são para exposição de trabalhadores durante 8 horas/dia ou 40 horas/semana e o índice STEL (*Short Term Exposure Limit*) é para exposição máxima de 15 minutos por dia de trabalho.

Na Austrália o padrão nacional relacionado com a exposição de trabalhadores a poluentes gasosos em minas subterrâneas é estabelecido pela NOHSC (*National Occupational Health and Safety Commission*), cujos indicadores estão apresentados na Tabela 3.23.

Tabela 3.22 – Padrões para emissão diesel para minas subterrâneas de carvão, metálicas e não metálicas em ppm (NIOSH, ACGIH, *Bureau of Mines Minneapolis* E.U.A.)

Poluente	Mina de carvão		Outras Minas (metálicas, etc.)	
	FSEL	STEL	FSEL	STEL
CO	50	400	50	400
CO ₂	5000	15000	5000	30000
NO	25	37.5	25	--
NO ₂	--	5	3	5
SO ₂	5	20	2	5

Tabela 3.23 – Padrões de poluentes gasosos na Austrália (disponível em www.asosh.org/WorldLinks/Sectors/mining.htm)

Poluente	Padrão (ppmv)
Monóxido de carbono (CO)	30
Bióxido de nitrogénio (NO ₂)	3
Óxido de nitrogénio (NO)	25
Bióxido de enxofre (SO ₂)	2
Formaldeído	1
Acrolein	0.1
Bióxido de carbono (minas de carvão)	12500
Bióxido de carbono em outras minas	5000

Em Nova Zelândia o Health and Safety (Mining – Underground) Regulations no ano de 1999 definiu como ar fresco quando tem as concentrações a seguir: Oxigénio não menor que 19%; Aldeídos (como formaldeído) menor que 1 ppm; CO menor que 25 ppm;

Pó respirável de quartzo menor que 0.2 mg/m^3 ; pó respirável de carvão menor que 0.2 mg/m^3 ; outros gases não maior do que o indicado na tabela Tabela 3.24.

Em relação ao óleo diesel indica que o óleo usado para abastecer um motor deve produzir no ponto de saída de gases uma temperatura não maior de $65 \text{ }^\circ\text{C}$, além de ter o índice do enxofre não maior de 0.05% em peso e esteja livre da sujeira, sedimento e água.

No Peru os valores limite admissíveis estão definidos pelo D.S. Nº 023-92-EM – *Reglamento de Seguridad e Higiene Minera*, que em termos resumidos são os seguintes: O_2 (19.5 % mínimo), CO_2 (0.5 %), CO (0.005 %) NO_x (0.0005 %), H_2S (0.0005 %), SO_2 (0.0002 %), CH_4 (0.5 %) e H_2 (0.5%).

Tabela 3.24 – Padrões da presença de gases na atmosfera subterrânea adotados em Nova Zelanda (www.minerals.co.nz/html/main_topics/codeprac/code_ug_15_new.html)

Poluente	Padrão (ppmv)	
	Exposição de 8 horas	Curto tempo de exposição
Monóxido de carbono (CO)	25	50 (60 min exposição)
Bióxido de carbono (CO_2)	5000	30000
Óxido de nitrogénio (NO_x)	3	5
Bióxido de enxofre (SO_2)	2	5
Sulfuro de hidrogénio (H_2S)	10	15

3.2.5. Matriz base para a identificação do nível de impacto ambiental devido a gases

Para identificar o nível do impacto ambiental provocado pela presença de gases no ar da atmosfera subterrânea elaborou-se uma matriz base (Tabela 3.25) considerando as normas e padrões indicados no item anterior, incluindo-se sete gases principais que tipicamente estão presentes no ambiente subterrâneo.

Tabela 3.25 – Matriz base para a identificação do nível de impacto ambiental na atmosfera subterrânea devido a gases e poeiras

Gás poluente	Níveis de impacto ambiental (ppm)		
	Leve	Moderado	Alto
O_2	$18500 \leq \text{O}_2 < 190000$	$170000 \leq \text{O}_2 < 18500$	$\text{O}_2 < 170000$
CO_2	$5000 < \text{CO}_2 \leq 6000$	$6000 < \text{CO}_2 \leq 7000$	$\text{CO}_2 > 7000$
CO	$50 < \text{CO} \leq 60$	$60 < \text{CO} \leq 70$	$\text{CO} > 70$
NO_x	$5 < \text{NO}_2 \leq 5.5$	$5.5 < \text{NO}_2 \leq 6$	$\text{NO}_2 > 6$
NO	$25 < \text{NO}_2 \leq 25.5$	$25.5 < \text{NO}_2 \leq 26$	$\text{NO}_2 > 26$
H_2S	$10 < \text{H}_2\text{S} \leq 11$	$11 < \text{H}_2\text{S} \leq 12$	$\text{H}_2\text{S} > 12$
SO_2	$5 < \text{SO}_2 \leq 5.5$	$5.5 < \text{SO}_2 \leq 6$	$\text{SO}_2 > 6$

O *French and Associates*, baseado no índice AQI para caso de minas que utilizam equipamentos com motor diesel define os níveis de risco seguintes: quando AQI de 3 a 4 é moderado e quando $\text{AQI} > 4$ existe um excesso.

Com base no índice da qualidade do ar pela presença de gases IQA_g (equação 3.39) e para N gases mais frequentes no ambiente subterrâneo é possível preparar uma matriz base (Tabela 3.26) que permite identificar o nível de risco ambiental.

Nesta proposta de avaliação do nível de impacto ambiental significa que, por exemplo, para 4 tipos de gases identificados um índice $IQA_g > 4$ indica uma condição de risco para a saúde humana e deve-se proceder com a identificação do índice de cada um dos 4 poluentes, de modo que o gás ou gases que reportam um índice $IQA_g > 1$ são os que poluem o ar subterrâneo, portanto, a procura das medidas de prevenção e correção devem realizar-se tendo como base estes gases.

Tabela 3.26 – Matriz base para a identificação do nível de impacto ambiental subterrâneo por gases tóxicos, baseado no índice de qualidade para N gases

Níveis de impacto ambiental devido a gases com base no IQA_g		
Leve	Moderado	Alto
$N < IQA_g \leq 1.25N$	$1.25N < IQA_g \leq 1.5N$	$1.5N < IQA_g$

3.2.6. Medidas correctivas do impacto ambiental subterrâneo por gases

As técnicas mais usadas no controle de gases (Hartman H. L., et al., 1982), em minas subterrâneas em ordem de prioridade são: Prevenção, remoção, absorção, isolamento e diluição.

3.2.6.1. Prevenção das emissões de gases e partículas

As medidas correctivas de prevenção para a atenuação da emissão dos motores diesel são fundamentalmente por duas maneiras: controle na fonte mediante a modificação do sistema do motor e/o através instalação de sistemas de atenuação da emissão de gases.

As técnicas de sistemas de controle da emissão de gases mediante a instalação de dispositivos adicionais conhecidas são: a oxidação catalítica DOC (*Diesel Oxidation Catalysis*), filtros para retenção de partículas de óleo diesel DPF (*Diesel Particulate Filters*), redução catalítica selectiva SCR (*Selective Catalysis Redution*), modificação do dimensionamento do motor em combinação com técnicas de controle da emissão, entre outros (Tabela 3.27).

Tabela 3.27 – Técnicas para controle da emissão de gases e partículas pelo motor diesel (ESI International, 1999)

Tecnologia	Efectividade de Controle (% de redução)				Comentário
	CO	HC	NO _x	PM	
Oxidação Catalítica	>90	>90	-	>25	Tecnologia provada, barata, melhor desempenho pelo combustível baixo em S, reduz emissões tóxicas.
Filtros de partículas	-	-	-	>90	Aplicação em minas, tecnologia mais cara, pode ser usado para reduzir emissões gasosas, técnica apropriada da regeneração requerida
Redução catalítica selectiva	>50	>70	80	>30	Aplicação a fontes móveis - requer o reagente dos motores electronicamente controlados, necessita desenvolver os algoritmos da injeção
Lean-NO _x Catalises	>70	>70	15-20	>30	Ainda pouco desenvolvido, requer combustível com muito baixo conteúdo de enxofre
Lean-NO _x w/HC-injec.	>70	>70	25-60	>30	
Lean-NO _x Adsorção	>70	>50	>70	>30	Ainda pouco desenvolvido, requer combustível muito baixo em enxofre
Redução catalítica com plasma	-	-	80	80	Ainda no início do desenvolvimento, provavelmente muito bom redutor de CO e HC

O conceito dum catalisador de oxidação DOC é baseado em reacções químicas sem mudança nem consumo do catalizador. Um conversor catalítico de oxidação consiste numa vasilha do aço inoxidável que contem uma estrutura chamada substrato, que expõe grande superfície interior (favo de abelha). Não há nenhuma peça em movimento, a superfície do substrato é revestida com metais preciosos catalíticos, tais como platina ou paládio.

É chamado catalisador de oxidação, porque transforma poluentes em gases pouco prejudiciais por meio da oxidação. Na exaustão de óleo diesel o catalisador oxida o monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos gasosos (HCs), e os hidrocarbonetos líquidos pela adsorção das partículas do carbono. Os hidrocarbonetos líquidos constituem a fracção orgânica solúvel (SOF) e jazem acima da parte das partículas (fig. 3.30 esquerda).

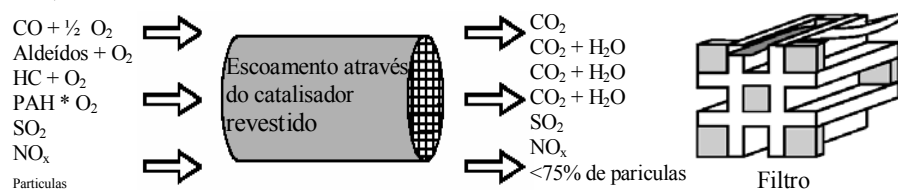


Figura 3.30 – Controle da emissão óleo diesel por processo da oxidação catalítica e filtros para partículas

A técnica de controle através de filtro DPF, consiste num filtro (fig. 3.30 direita) posicionado no tubo da exaustão e que colecta uma fracção significativa das emissões de partículas pela passagem dos gases através do sistema. A carcaça do filtro é geralmente metálica e os cartuchos podem ser cerâmicos, de fibra de vidro e mesmo de papel resistente a altas temperaturas.

3.2.6.2. Controle das emissões de gases e partículas através da diluição

A técnica de diluição pode ser usada e combinada com outras técnicas, para reduzir os custos de controle das emissões diesel. Walli, R.A. (1982) recomenda a utilização da equação logarítmica de Mateer (3.40), onde Q_{gp} é o caudal de ar com presença de gás poluente, Q_g é o caudal de ar fresco requerido para diluir o gás, y é o volume do espaço de trabalho, t_o e t os tempos (minutos), x é a concentração do poluente na mistura, x_o é a concentração do poluente no ar da entrada, B_g é a concentração do poluente em condições normais de entrada do ar.

$$e^{\frac{(Q_{gp}+Q_g)(t-t_o)}{y}} = \frac{(Q_{gp} + B_g Q_g) - x(Q_{gp} + Q_g)}{(Q_{gp} + B_g Q_g) - x_o(Q_{gp} + Q_g)} \quad (3.40)$$

Sabendo os valores de y , Q_{gp} , x_o , x e Q_g , o tempo t requerido para diluir a concentração de gás num ambiente determinado pode-se calcular com a equação (3.41).

$$t = \frac{y}{Q_g} \ln \frac{Q_{gp} - x_o Q_g}{Q_{gp} - x Q_g} \quad (3.41)$$

Na maioria das situações, o tempo necessário à diluição torna-se muito longo (com tendência para o infinito) e portanto, o caudal requerido para diluir um determinado gás pode ser calculado com a equação (3.42).

$$Q_g = \frac{1-x}{x-B_g} Q_{gp} \quad (3.42)$$

Em concordância com a caracterização da presença de gases no ambiente, subterrâneo verifica-se que o gás com maior concentração é o CO_2 seguido por CO ; portanto, no caso de existirem outros poluentes, bastará com CO_2 (caso esteja acima do limite) ou, não sendo o caso, actuar sobre o CO .

Para calcular a quantidade de ar fresco Q_{go} (m^3/s) que permita diluir a concentração de gases de emissão por equipamentos com motor diesel a níveis permissíveis, propõe-se a equação (3.43) que é baseada no índice de qualidade do ar devido a gases IQA_g , no caudal de gás emitido pelo motor ao ambiente subterrâneo q_g ($m^3/s.hp$) e potência P_e em hp.

$$Q_{go} = IQA_g q_g P_e \quad (3.43)$$

O caudal necessário de ar fresco Q_e (m^3/s) que permita ventilar uma frente de trabalho depois do disparo com explosivo, proposto por López Jimeno, C. (1997) é a

equação (3.44) expressa em função do tempo t (~30 minutos), da secção S do ambiente (m^2) e a distância total da frente à boca de túnel L (m).

$$Q_e = \left(\frac{S}{t}\right)(L + 120) \quad (3.44)$$

Outras equações para determinar o caudal de ar fresco requerido para a diluição de gases Q_e (m^3/s) são a de A. Novitsky equação (3.45) e a de Komarov a equação (3.46), onde t tempo de expulsão de gases, C_e é a concentração inicial de gases tóxicos (ppm), VLA o valor limite admissível dos gases (ppm), e q_e é a quantidade de explosivo consumido (kg).

$$Q_e = \frac{L.S}{t} \ln\left(\frac{C_e}{VLA}\right) \quad (3.45), \quad Q_e = 7.8(q_e(L.S)^2)^{0.333} \quad (3.46)$$

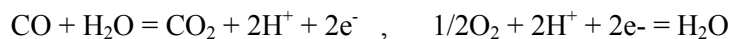
3.2.7. Monitorização e controle

A consecução dum ambiente do ar subterrâneo com boa qualidade tendo em conta a presença de gases tóxicos, exige um trabalho sistemático e organizado, suportado por numa forte base técnico/científica com critério de viabilidade económica.

A engenharia ambiental subterrânea relacionada com gases tóxicos deve ser um processo lógico e sequencial que permita manter o ar da atmosfera subterrânea com concentrações abaixo dos limites admissíveis. Portanto, o modelo desenvolvido, que inclui a monitorização e controle, está ilustrado no diagrama da fig. 3.31.

As medições dos poluentes gasosos são feitas mediante a utilização de aparelhagem específica, dependendo do método a utilizar (Williams, L. *et al.*, 1987) e do tipo de gás a medir.

a) *Método electroquímico*: o aparelho consiste numa célula com electrolito e dois eléctrodos, que ao entrar em um dos quais permite a difusão da amostra de ar. Alimentado por uma bateria, o fluxo de electrões libertados altera-se quando se inicia a difusão do ar, numa relação com a quantidade de gás contida na amostra. Um exemplo é do CO:



No mercado existem aparelhos electroquímicos para medições de CO, CO₂, NO_x, SO₂ (Tabela 3.28) mediante sensores e detectores diferentes.

O método permite monitorizar cada 2 minutos, precisa de ser calibrado cada 30 dias e a precisão é de 2 a 5 ppm.

O aparelho tem uma vida útil de 1 a 2 anos e custo varia de 100 a 500 Euros. O custo da troca dos sensores é de 100 a 300 Euros anuais.

b) *Infravermelho*: o aparelho baseia-se na espectrometria de absorção, e compara a amostra de ar com uma amostra de gás puro em análise. As unidades de detecção podem ser unidades para análise em diferentes gases (CO, CO₂, NO, NO₂ e SO₂). A energia absorvida pelos raios infravermelhos produz nos gases um aumento na vibração ou

rotação molecular que é detectada em bandas por processo electrónico medindo as concentrações.

Tabela 3.28 – Emissão diesel, gás diluído e intervalo típico de medição electroquímica (Williams, L. *et al.*, 1987)

Poluente	Emissão de gases no motor diesel (ppm)			Gás diluído no ambiente subterrâneo (ppm)	Intervalo típico de medição electroquímica (ppm)
	Injecção indirecta (IID)		Injecção directa (ID)		
	Mínimo	Comum			
CO	200	300	2500	10 -20	0 - 2000
CO ₂	8000	9900	10000	1000 - 5000	0 - 10000
NO	500	1000	740	- 10	0 - 1000
NO ₂	12	20	48	0.5 - 1	0 - 100
SO ₂	80	80	80	--	0 - 100

Estes instrumentos, que dispõem sistema de alarme, podem ser usados para concentrações de 2 a 20 ppm de CO. O tempo de medição varia de 5 a 10 segundos, tem autonomia de 4 a 6 horas, vida útil 1 ano e custo a rondar os 3000 Euros.

c) *Tubos detectores*: são os tradicionalmente utilizados e consistem em tubos de vidro que contêm uma impregnação química granular, que ao entrar em contacto com o gás muda de cor por difusão. A mudança de cor é característica para cada tipo de gás. Estes tubos funcionam geralmente com uma bomba manual aplicando uma determinada quantidade de emboladas para cada tipo de gás. O intervalo típico de utilização varia segundo o tipo de gás (Tabela 3.29).

$$L_c = \frac{L.T}{298.P} \quad (3.47)$$

Tabela 3.29 – Intervalo típico de medição de gases com tubos detectores em ppm (Williams, L. *et al.*, 1987)

Gás	Curto tempo	Longo tempo	Difusão
CO	5 - 15 100 -700	2.5 – 25 6.3 – 63	6 – 75
CO ₂	100 -3000 1000 -12000 5000 - 60000	250 – 1500	1200 – 40000
NO	0.5 -10	1.3 – 12.5	
NO ₂	0.5 -10	1.3 – 13	1.3 –25
SO ₂	0.5 - 5	1.3 - 13	0.6 - 20

As leituras obtidas precisam de correcção mediante a equação (3.47), onde L_c é a leitura corrigida, L é a leitura no tubo de gás, T é a temperatura no momento da medição (°K) e P é a pressão barométrica (atmosferas).

Os tubos detectores têm uma vida útil de 2 anos. Alguns, como os de CO, precisam refrigeração (<20 °C) e a sua vida útil é mais curta (1 ano). O custo de cada tubo é de 2 a 3 Euros.

d) *Tubo de prova passivo tipo Palmes*: consiste num tubo que, ao abrir-se, permite entrar e difundir-se, mediante um absorvente alcalino, o ar em análise, sendo colectado o gás NO_2 . A concentração é calculada pelo número de moles do gás colectado.

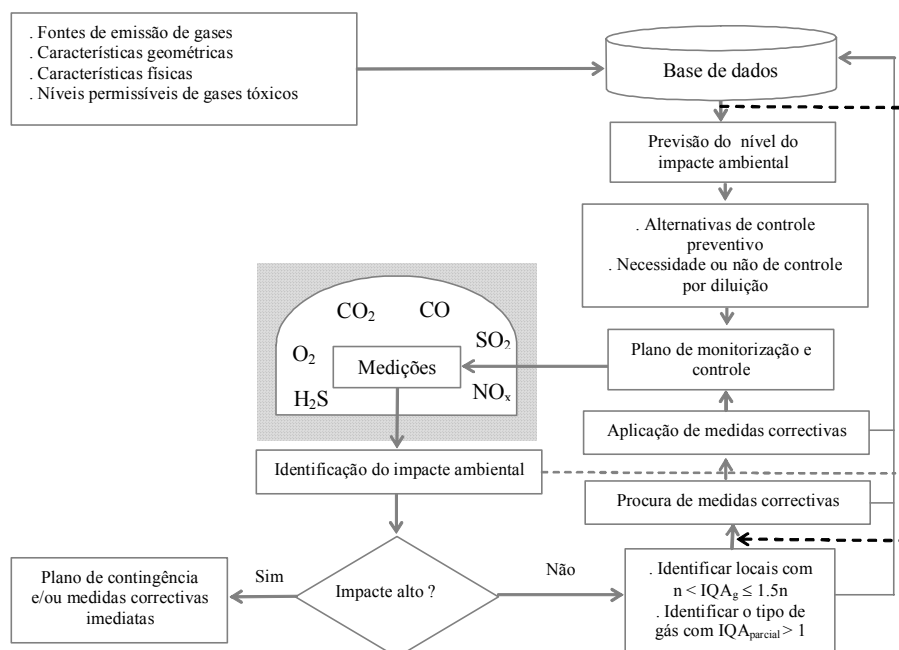


Figura 3.31 – Sistema de gestão de gases tóxicos no ar do ambiente subterrâneo

O intervalo de medição do NO_x e NO_2 é até 20 ppm. As provas são feitas cada 8 horas, mas se a concentração for alta deve ser cada hora. O custo é de aproximadamente de 1 Euro por cada tubo.

A Engenharia Ambiental Subterrânea (EAS) de gases na atmosfera subterrânea está sistematizada considerando um processo que se inicia com a identificação das fontes de emissão, caracterização do ambiente e dos gases, identificação do nível de risco ambiental, procura de medidas de prevenção e/ou correcção do impacte identificado, implementação ou aplicação da alternativa técnico/económica mais viável, acompanhamento com sistema de monitorização e controle para comprovar a eficácia e efectividade da medida. A fig. 3.31 ilustra o processo descrito.

3.3. Poeiras no Ambiente Subterrâneo

3.3.1. Efeitos ambientais

No ambiente subterrâneo o conteúdo de poeiras em suspensão varia desde alguns miligramas até centenas de miligramas por m^3 , podendo atingir em alguns locais, como frentes de disparo, frentes de corte, etc., algumas gramas (5 – 15) por m^3 .

A poeira no sistema respiratório humano deposita-se no nariz, na traqueia, brônquios e nos alvéolos dos pulmões (fig. 3.32) em quantidade proporcional ao tamanho das partículas.

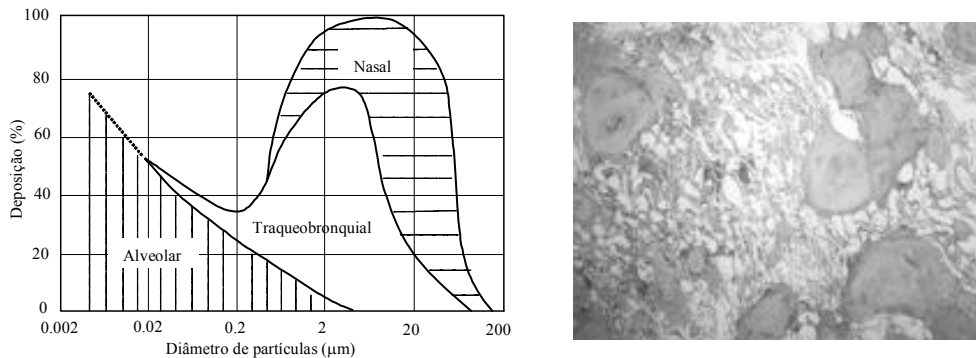


Figura 3.32 – Deposição da poeira no sistema respiratório (Hartman, H.L. et al., 1982) e partículas sólidas nos pulmões (<http://pathology.class.kmu.edu.tw>)

O sistema respiratório do homem tem numerosos mecanismos de defesa mediante sistemas de captação de qualquer poeira inalada (Tabela 3.30), mas tem limitações de acção para certas dimensões e para certas características de pó, apanhando e expectorando em alguns casos, permitindo passar aos alvéolos, pela impossibilidade orgânica de retenção e em noutros, inalando e exalando.

Para fins ambientais a poeira pode-se classificar em três tipos: poeira mineral, poeira de carvão e poeira de motores diesel.

A poeira mineral suspensa pode não ser nociva, neste caso os pulmões actuam contra estas partículas estranhas mediante células denominadas devoradoras, cuja função é envolver as partículas e transportar pelos caminhos linfáticos; mas isto ocorre somente com pó não perigoso e quando a qualidade do ar aspirado não ultrapassa a possibilidade da defesa das células referidas. Em presença de pó destruidor (sílica) as células devoradoras não podem resistir e morrem, conseqüentemente o pó cumpre sua função nociva ao formar um tecido fibroso (fig. 3.33) contribuindo para a doença ocupacional conhecida como *silicose*.

Tabela 3.30 – Acção do sistema respiratório frente ao tamanho das partículas (baseado em Hartman, H.L., 1982; Vutukuri, V.S., et al., 1986)

Diâmetro de partículas (μm)	Acção do sistema respiratório	Efeito
>10	Deposição no conduto nasal e traqueia bronquial	Expectorado pela acção da mucosa
10 - 1	Deposição no conduto traqueia bronquial e <5 μm passa aos alvéolos	Risco por passagem de alguma poeira e reacção fibrosa nos pulmões
< 1	Inalação e exalação (pó respirável)	Em altas concentrações e em longos períodos reacção fibrosa dos pulmões

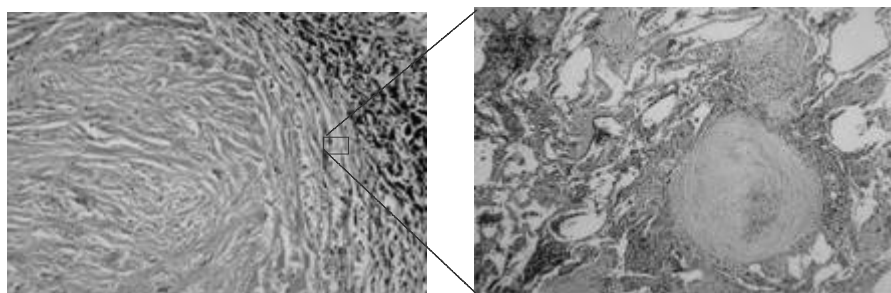


Figura 3.33 – Nódulos concêntricos de sílica plana com periferia de partículas de emissões diesel nos pulmões (<http://pathology.class.kmu.edu.tw>)

A poeira de mineral produz efeitos ambientais diversos contra o homem (Tabela 3.31), dependendo da sua composição, da sua concentração e da sua toxicidade.

Tabela 3.31 – Efeitos ambientais da poeira mineral nociva (baseado em Walli, R.A., 1982)

Efeito	Pó de minerais ou metais	Detalhe do efeito	
		Metal	Doença
Sistema respiratório (pulmões)	Sílica (quartzo, cherte), silicatos (asbesto, talco, mica), berilo, estanho, ferro	Sílica livre	Silicose
		Silicatos	Silicatose
		Ferro	Siderose
		Asbesto	Asbestose
Cancerígeno (pulmões)	Radon, urânio, asbesto, arsénio	Cancro nos pulmões	
Tóxico	Berilo, rádio, tório, arsénio, urânio, vanádio, mercúrio, cádmio, antimónio, selénio, manga nesse, tungsténio, níquel, prata (carbonetos)	Não são comuns	

A doença mais comum em minas é a *silicose*, que acontece quando a poeira entra nos pulmões (alvéolos) e pela lenta dissolução no líquido do tecido dos pulmões as partículas de sílica são transformadas em ácido silícico (H_2SiO_3) activo, que actua quimicamente sobre os tecidos pulmonares, transformando-os em tecidos fibrosos sem capilares sanguíneos. A *silicose* tem três graus:

Primeiro grau: com manifestação de mal-estar geral, falta de ar no trabalho, tosse seca e leve;

Segundo grau: dor no peito, diminuição da capacidade respiratória, tosse seca e húmida, diminuição da capacidade de trabalho;

Terceiro grau: falta de ar inclusivamente no estado tranquilo, tosse com expectoração, dores no tórax, perda total da capacidade do trabalho, complicação com a tuberculose e morte.

Em minas subterrâneas de carvão, a doença devido à poeira suspensa são denominadas antracose e antraco – silicose (Tabela 3.32).

Na actualidade, a tendência da mecanização das minas subterrânea conduz a uma intensa utilização de equipamentos com motor diesel, como são os jumbos para perfuração, as pás (LHDs) para remoção de mineral nas frentes de trabalho, camiões (*dumpers*) e outras máquinas como locomotivas.

Estes equipamentos, à parte emitirem gases tóxicos, geram também partículas (Tabela 3.33) em forma de fuligem que é respirada pelo homem exposto a este meio. Estas partículas contêm produtos cancerígenos que se acumulam nos pulmões (fig. 65 direita).

Tabela 3.32 – Efeito ambiental da poeira de carvão (baseado em Walli, R.A., 1982)

Efeito	Minerais	Detalhe do efeito	
		Mineral	Doença
Sistema respiratório (pulmões)	Carvão	Antracite	Antracose
		Antracite+Sílica livre	Antraco - silicose

Tabela 3.33 – Efeito ambiental de partículas (poeiras) emitidas por equipamentos diesel (Garshick, E, 2003; Stewart, K.M., 2001)

Efeito	Fuligem/componentes	Detalhe da doença
Sistema respiratório, olhos, pele e pulmões	Hidrocarbonetos (84 ppm), Aldeídos (25 ppm), formaldeído (14 ppm), sulfatos, nitratos, metais. 94%, partículas <2.5 micron	Odor, irritação dos olhos, alergias e Cancro nos pulmões

Os hidrocarbonetos (compostos binários de carbono e hidrogénio), os aldeídos (nome genérico dos compostos caracterizados por acção redutora, que são derivados dos álcoois primários por oxidação moderada com perda de hidrogénio) e o formaldeído (solução aquosa de aldeído fórmico e metanol), presentes na fuligem são perigosos porquanto são aspirados pelos homens no ambiente onde trabalham os equipamentos diesel.

3.3.2. Fontes da poeira

a) *Poeira de mineral e de carvão*: no ambiente subterrâneo tem origem na escavação do maciço rochoso, na construção de túneis para estradas e ferrovias, centrais hidroeléctricas, câmaras de defesa civil, centrais de energia nuclear, de gás e instalações públicas e para exploração de jazigos minerais metálicos e não metálicos (galerias, poços, chaminés, rampas e desmontes).

A poeira de carvão é gerada principalmente nas operações de escavação ou corte na exploração dos jazigos de carvão (Tabela 3.34).

Tabela 3.34 – Carga ambiental em minas de carvão subterrâneas em relação a minas a céu aberto (<http://wbln0018.worldbank.org>)

Carga ambiental	Técnicas de exploração			
	Céu aberto (t/1000t)		Método subterrâneo (t/1000t)	
	Contorno	Escavação	Convencional	Longwall
Efluentes líquidos	0.24	1.2	1	1.6
Estéreis sólidos	10	10	3	5
Pó	0.1	0.06	0.006	0.01

Fonte: Baseado em Edgar, 1983

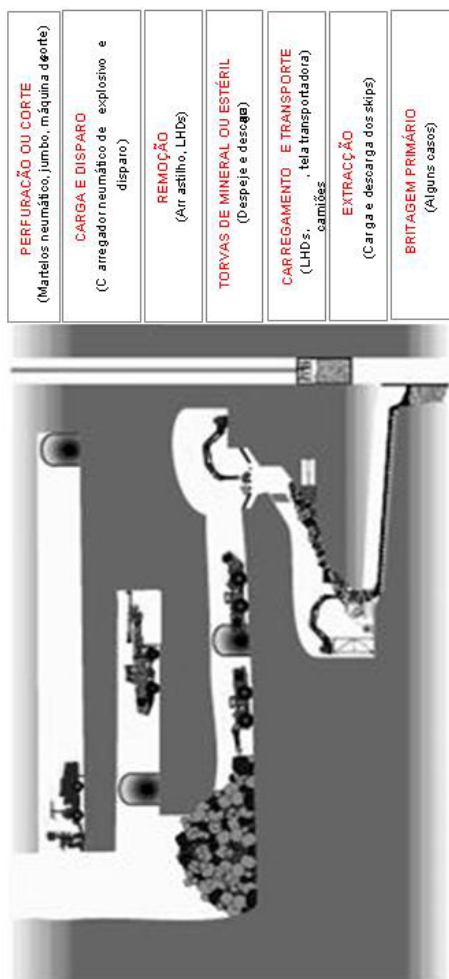


Figura 3.34 – Actividades operacionais que produzem poeira na escavação subterrânea

As actividades operacionais que geram poeira de mineral ou de carvão estão relacionadas com a perfuração, corte, disparos com explosivo, remoção, transferência a torvas de minério ou desmonte, carga, transporte, extracção e britagem em alguns casos (fig. 3.34).

b) *Partículas emitidas pelos equipamentos com motor diesel:* têm a forma de fuligem e constituem parte da poeira presente no ambiente subterrâneo e principalmente nos locais de trabalho onde são utilizados (fig. 3.35). Estes equipamentos são as pás carregadoras (LHDs), camiões (dumper), jumbos automotores, locomotivas, veículos para transporte de pessoal, entre outros.

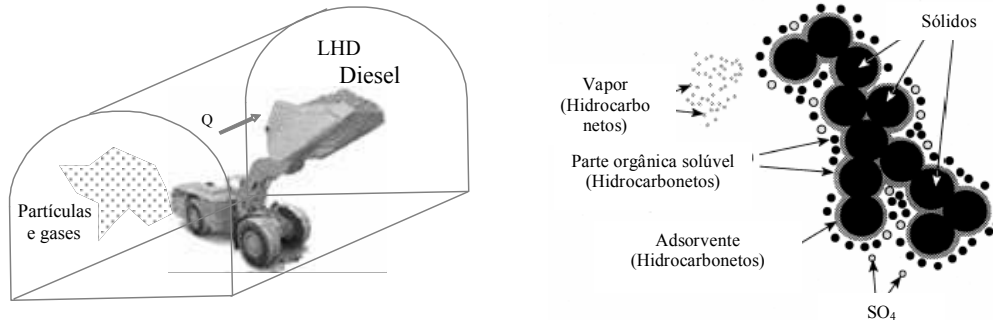


Figura 3.35 – Emissão de partículas (poeira) pelos equipamentos diesel

3.3.3. Caracterização da poeira no ambiente subterrâneo

A poeira é um conjunto de finas e finíssimas partículas sólidas suspensas na atmosfera subterrânea ou assentes sobre os hasteais, piso e tecto das escavações.

A suspensão da poeira no ar da atmosfera subterrânea num determinado tempo depende da finura, da sua forma, massa volúmica, velocidade do ar, da humidade e da temperatura.

O tempo de duração t (s) da suspensão de uma partícula de pó no ar tranquilo determina-se com a equação (3.48) que é baseada na lei de Stokes, onde ν é a viscosidade do ar tranquilo (1.81×10^{-4} poises a 21°C), h_x a altura de queda do pó (cm), r o raio da partícula (cm), γ_p a massa volúmica da partícula (g/cm^3), γ_a a massa volúmica do ar (g/cm^3) e g a aceleração da gravidade ($981 \text{ cm}/\text{s}^2$).

$$t = \frac{4.5\nu h_x}{r^2(\gamma_p - \gamma_a)g} \quad (3.48)$$

Numa frente com altura de 3 m, uma partícula com massa volúmica de $2.5 \text{ g}/\text{cm}^3$ e diâmetro de $100 \mu\text{m}$ demora na queda uns 4 segundos, já a de $10 \mu\text{m}$ uns 7 minutos e a de $1 \mu\text{m}$ 9 horas.

Poeiras com $5 \mu\text{m}$ que passam aos pulmões caem no ar tranquilo a uma velocidade próxima de $1 \text{ mm}/\text{s}$ e partículas com diâmetro $<0.10 \mu\text{m}$, tal como as moléculas de ar em movimento Browniano que ficam em suspensão. As partículas planas permanecem no ar um tempo mais prolongado que as esféricas.

Na atmosfera subterrânea é possível identificar à vista partículas cujo diâmetro $\hat{e} > 10 \mu\text{m}$ e que caem em forma acelerada., com ajuda do microscópio partículas de 10 a $0.1 \mu\text{m}$ que caem a velocidade constante e ao ultramicroscópio partículas $< 0.1 \mu\text{m}$ que não assentam.

Do ponto de vista ambiental interessa caracterizar a concentração e natureza de conteúdo da poeira respirável.

A produção de poeira P_p (g/h) pelo processo operacional de escavação subterrânea pode ser determinada pela equação (3.49), em função da carga ambiental de poeira no processo de escavação q_p (g/t) (próximo a 10 g/t) e produção ou quantidade de material escavado P (t/h).

$$P_p = q_p \cdot P \quad (3.49)$$

Para a estimativa da taxa de emissão de partículas no ar pelo motor diesel E_p (g/min) desenvolveu-se a equação (3.50) que é uma modificação da equação de Haney, R. A. *et al.* de MSHA E.U.A. (1994), em função da concentração de partículas no ar de retorno ou saída de C_r (g/m³), da concentração de partículas na entrada do ar C_e (g/m³) e caudal de retorno do ar Q_r (m³/min).

$$E_p = (C_r - C_e) Q_r \quad (3.50)$$

A taxa de geração de partículas pelo motor diesel varia de 1.40 a 1.59 mg/m³, mas com a instalação de filtros pode diminuir até 0.53 a 0.87 mg/m³, 53% aproximadamente.

Haney, R. A. *et al.* (1997) desenvolveu a equação (3.51) para calcular a concentração de partículas ao ar pela emissão do motor diesel C_d (g/m³), em função da E_r , eficiência antes do tratamento (50 a 95%) e o caudal do ar Q_a (m³/min).

$$C_d = \frac{E_p (1 - E_r)}{Q_a} \quad (3.51)$$

A emissão do motor diesel está no limite de 0.3 a 0.5 g/minuto, nos equipamentos de remoção e de 1.0 a 3.0 g/minuto para equipamentos de carga e transporte. Cálculos realizados por Haney, R.A. *et al.* (1997), indicam que para 1.0 g/minuto de emissão sem tratamento e caudal de ar de 14.2 m³/s, resulta uma concentração de 1.18 g/m³, para o dobro do caudal de ar reduz-se a concentração a 0.59 mg/m³ e aplicando uma eficiência de tratamento 80% , resulta uma concentração de 0.12 mg/m³.

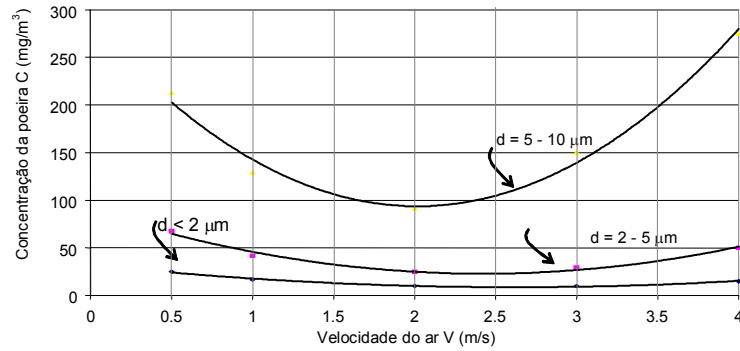


Figura 3.36 – Tendência da concentração da poeira em relação á velocidade do ar (baseado em Anon, 1974).

A concentração de poeira varia com a velocidade do ar, como é ilustrada na fig. 3.36 para partículas de diferente diâmetro ($d < 2 \mu\text{m}$, $d = 2 - 5 \mu\text{m}$ e $d = 5 - 10 \mu\text{m}$) onde se observa que na velocidade entre 1.5 a 2 m/s existe uma menor concentração e a velocidades menores e maiores existe acréscimo da concentração.

As curvas de tendência da fig. 3.36 permitem expressar a concentração da poeira C mediante uma equação geral (3.52) em função da velocidade do ar V (m/s) e constantes a , b e c que tomam valores em função do diâmetro de partículas (Tabela 3-35).

$$C = aV^2 - bV + c \quad (3.52)$$

Baseado no índice de qualidade do ar AQI (Air Quality Index) proposto por CANMET (Canadian Centre for Mineral and Energy Technology) e modificação realizada por French and Associates, o índice de qualidade do ar em relação à emissão de partículas por motor diesel dos equipamentos (IQA_p) exprime-se mediante a equação (3.53), onde C_s é a concentração de poeira com sílica livre (mg/m^3), VLA_s o valor limite admissível da concentração de poeira com sílica livre (mg/m^3), C_{go} a concentração de partículas emitidas por equipamentos com motor diesel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), VLA_{go} o valor limite admissível da concentração de partículas emitidas por equipamentos com motor diesel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), C_o a concentração de qualquer outro poluente em forma de partículas (mg/m^3) e VLA_o o valor limite admissível desse outro poluente (mg/m^3).

$$IQA_p = \frac{C_s}{VLA_s} + \frac{C_{go}}{VLA_{go}} + \frac{C_o}{VLA_o} \quad (3.53)$$

Tabela 3.35 – Valores dos coeficientes a , b e c da equação (3.52) em função da velocidade do ar (elaborado em base a Anon, 1974)

Diâmetro de partículas (μm)	a	b	c
<2	3.4509	18.066	32.394
2 - 5	11.339	54.927	89.453
5 - 10	47.333	190.990	286.400

Na generalidade dos casos o maior risco ambiental provocado pela poeira tem relação com a presença da sílica livre e das partículas emitidas pelos equipamentos com

motor diesel, portanto, o valor do índice de qualidade IQA_p para conservar o ambiente dentro dos padrões estabelecidos deverá ser ≤ 2 e na hipótese de existirem três poluentes sólidos deverá ser ≤ 3 .

3.3.4. Normas e padrões de qualidade ambiental por causa de poeiras

O valor limite admissível da concentração de poeira respirável adotado por E.U.A. é de 2 mg/m^3 de ar em que a poeira de quartzo é inferior a 5%. Investigações realizadas por MRE (*Mining Research Establishment of Great Britain*) determinaram um padrão de quartzo presente de 85 a $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ de ar (Tomb, T.F. *et al.*, 1995).

Tomb, T., *et al.* (2001) de MSHA (*Mine Safety and Health Administration* de E.U.A.), consideram a condição de ar respirável com concentração de partículas emitidas por motores diesel de 1 mg/m^3 calculado para uma massa volúmica de poeira com sílica de 2.5 g/cm^3 e tamanho aproximado de $1.5 \text{ } \mu\text{m}$.

Nos E.U.A. para alguns silicatos (com teor de quartzo $<1\%$), o valores limite admissíveis é de 3.5 g/cm^3 para a mica, de 5.3 g/cm^3 para o cimento portland e de 3.5 g/cm^3 para o talco.

Para pó metálico (Walli, R.A. 1982) os valores limite admissíveis são: mercúrio 0.05 mg/m^3 , chumbo 0.15 mg/m^3 , arsênio 0.20 mg/m^3 , antimônio e bário 0.5 mg/m^3 , ferro, magnésio, zinco e molibdênio 5 mg/m^3 , urânio e vanádio 0.5 mg/m^3 .

Os padrões relacionados com poeiras respiráveis em minas subterrâneas em E.U.A. são apresentados na Tabela 3.36, onde NIOSH considera um limite da exposição recomendado (REL) para todas as formas de sílica cristalina em poeira respirável de $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ para proteger os trabalhadores da silicose. O OSHA estabeleceu os limites permissíveis da exposição (PEL) para 8-hr por dia de tempo médio de trabalho (TWA) para quartzo cristalino $< 0.1 \text{ mg/m}^3$ e para a cristobalite ou dritymite cristalinos $< 0.05 \text{ mg/m}^3$. A MSHA considera limites permissíveis da exposição iguais a OSHA. Finalmente a ACGIH, no ano 2001, para todas as formas de sílica cristalina em poeira respirável considera um valor limite de 0.05 mg/m^3 .

Tabela 3.36 – Padrões de poeira respirável em minas metálicas, não metálicas e de carvão nos E.U.A. (www.cdc.gov/niosh, www.osha.gov, www.msha.gov, www.acgih.org)

Referência	Substância	Padrão limite (mg/m^3)
NIOSH (1974)	Sílica cristalina *: quartzo, cristobalite, e tridimite como poeira respirável	REL. = 0.05 (até 10-hr de trabalho diário, durante 40-hr por semana).
OSHA (29 CFR 1910.1000.T-3)	Sílica cristalina respirável, quartzo Sílica cristalina respirável, quartzo, cristobalite Sílica cristalina respirável, quartzo, tridimite	PEL = $10 \div \% \text{ de quartzo} + 2$ (8-hr TWA) PEL = metade do valor calculado com a fórmula para o quartzo PEL = metade do valor calculado com a fórmula para o quartzo

Tabela 3.36 (cont.) – Padrões de poeira respirável em minas metálicas, não metálicas e de carvão nos E.U.A. (www.cdc.gov/niosh, www.osha.gov, www.msha.gov, www.acgih.org)

Referência	Substância	Padrão limite (mg/m ³)
MSHA (30 CFR 56, 56, 70, 71)	Quartzo respirável em minas metálicas e não metálicas Sílica cristalina respirável presente em concentração > 5% em minas de carvão	PEL = 10 ÷ % de quartzo + 2 (8-hr TWA)
		RDS = 10 ÷ % de quartzo + 2 (8-hr TWA)
ACGIH (2001)	Sílica cristalina respirável, quartzo	TLV = 0.05 (8-hr TWA)
	Sílica cristalina respirável, quartzo, cristobalite	TLV = 0.05 (8-hr TWA)
	Sílica cristalina respirável, quartzo, tridimite	TLV = 0.05 (8-hr TWA)
*Identificado por NIOSH como um potencial risco ocupacional [2521 casos observados, 54 positivas, (1989)] Abreviaturas: REL = limite da exposição recomendado; PEL = limite permissível da exposição; RDS = padrão da poeira respirável; TLV = valor limite do limiar; TWA = tempo médio de trabalho		

Os limites permissíveis da exposição (PELs) estabelecidos pela administração ocupacional de segurança e de saúde (OSHA) e pela administração da segurança e da saúde das minas (MSHA) para alguns gases tipicamente encontrados na exaustão de motores diesel são listados na Tabela 3.38 junto com os limites recomendados de exposição (RELs) estabelecidos por NIOSH.

Os padrões para poeiras adotados na Austrália (Tabela 3.37) mediante a NOHSC (*National Occupational Health and Safety Commission*) são relacionados com poeira respirável, que é estabelecida conforme a definição do conselho de pesquisa médica britânica (BMRC) e pela recomendação da conferência do pneumoconiosis realizada em Joanesburgo em 1959 (fig. 3.37).

Os padrões de emissão de motores diesel e limites permissíveis de concentração de partículas nos E.U.A., na União Europeia (E.U.), Alemanha, Canadá e entidades autorizadas estão apresentados na Tabela 3.38, considerando ainda a concentração típica em minas subterrâneas.

EPA dos E.U.A. considera que o óleo diesel deve conter enxofre em <0.05% ou <500 ppm. Para diluir as emissões precisa-se de 16.67 m³/s de ar para 0.0000631 m³/s de DPM (partículas emitidas) a 1000 µg/m³ (MSHA).

Os padrões aceites e estabelecidos pelo Banco Mundial (*World Bank - Environment, Health and Safety Guidelines Mining and Milling - Underground, INTERIM*), por EPA de E.U.A. (*Environmental Protection Agency*) e por ADEC (*Alaska Department of Environmental Conservation*) apresentam-se na Tabela 3.39. Uma prolongada exposição do pessoal a poeira de metal como o níquel, cádmio, cromo e arsênio, podem causar o câncer.

Diâmetro equivalente da partícula (μ)	Respirabilidade (%)
0	100
1	98
2	92
3	82
4	68
5	50
6	28
7	0

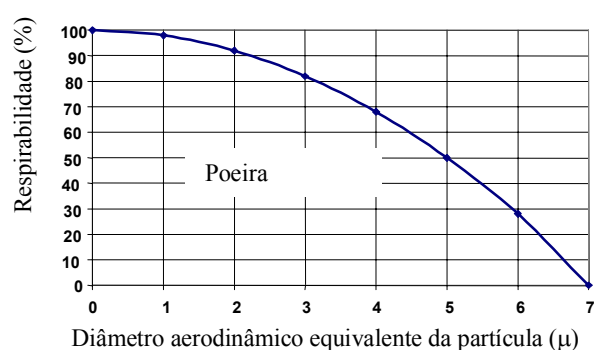


Figura 3.37 – Fracção de poeira respirável
(<http://www.nohsc.gov.au/ohsinformation>)

A MSHA (*Mining Safety Health Administration* de E.U.A., 2001) em estudos realizados durante 45 anos e em exposição do pessoal a uma média de 1920 horas por ano (Tabela 3.40) conseguiu relacionar a mortalidade por cancro com a concentração de partículas da emissão de motor diesel, observando-se que quanto maior é esta concentração maior é a mortalidade e vice-versa.

Tabela 3.37 – Padrões de poeira respirável de NOHSC (*National Occupational Health and Safety Commission*) de Austrália (disponível em <http://www.nohsc.gov.au/ohsinformation>)

Substância	Padrão por TWA	Substância	Padrão por TWA
Mica	2.5 mg/m ³ (com < 1% quartzo)	Grafite	3 mg/m ³
Sílica cristalina	Quartzo: 0.1 mg/m ³ Cristobalite: 0.05 mg/m ³ Tridymite: 0.05 mg/m ³ Tripoli: 0.1 mg/m ³	Pó de carvão (com < 5% quartzo)	3 mg/m ³
Talco	2.5 mg/m ³	Fibras cerâmicas e fibra de vidro	5 fibras/ml

Tabela 3.38 – Padrões de emissão diesel (partículas) e em diferentes países (disponível em www.dieselnet.com/)

E.U.A.	União Europeia UE	(EPA de E.U.A.)
1994: 0.13 g/ kWh 2004: 3.35 g/ kWh (NO _x + HC)	2005: 0.02/ 0.03 g/ kWh 2008: 2.0 g/ kWh NO _x	0.67 g/ kWh NO _x 0.013 g/ kWh depois de tratam.
Alemanha (túneis/minas de carvão)	Canadá (Ontário)	MSHA (TLV minas não metálicas e metálicas)
0.3 mg/m ³ , Carvão elementar	1.5 mg/m ³ , RCD*	0.4 a 0.6 mg/m ³
ACGIH TLV 1995 (E.U.A.)	ACGIH TLV 1998 (E.U.A.)	Concentração típica em minas
0.15 mg/m ³	0.05 mg/m ³	0.10 a 1.70 mg/m ³

* RCD respirable combustible dust

Com a finalidade de amostragem ambiental a partícula emitida pelo motor diesel são expressa em DPM (*limits for diesel particulate matter*) e é definida como o carbono total (TC). Esta definição inclui (hidrocarboneto derivado) o carbono elementar e orgânico, excluindo a cinza e sulfatos inorgânicos do TLV.

Tabela 3.39 – Valores Limites Admissíveis TLVs segundo o Banco Mundial (World Bank - Environment, Health and Safety Guidelines Mining and Milling - Underground, INTERIM, segundo EPA de E.U.A. e ADEC de Alaska Department of Environmental Conservation)

Banco Mundial		EPA e ADEC		
Poluente	Valor limite admissível (TLVs) mg/m ³	Poluente metálico	Valor limite admissível (TLVs) µg/m ³	
			24 horas	Anual
Arsénio	0.2			
Asbesto	0.5 fibras/cm ³			
Monóxido de Carbono CO	29	Zinco	12.0	6.55
Bióxido de Carbono	5%	Níquel	0.002	0.002
Oxigénio O ₂	19.5%	Arsénio	0.39	0.0002
Cobre Cu	1	Antimónio	8.0	1.19
Cianeto de Hidrogénio	11	Crómio	0.068	0.07
Sulfureto de hidrogénio	14	Cádmio	0.0056	0.000435
Bióxido de Nitrogénio	6	Selénio	0.27	0.26
NO ₂	10	Mercúrio	0.08	0.01
Poeira inerte ou incómodo	0.1	Bário	8.0	11.9
Sílica/Quartzo cristalino	5	Manganés	17	0.24
Bióxido de enxofre SO ₂				

A Tabela 3.41 mostra que para uma redução da concentração de partículas de 808 µg/m³ a 200 µg/m³ a mortalidade diminui cerca de 80%.

Baseados nestes estudos nos E.U.A. definiram-se os valores limites admissíveis da concentração da emissão de partículas para equipamentos com motor diesel em minas subterrâneas. Em 19 de Janeiro de 2001 MSHA publicou os regulamentos finais da emissão de motores diesel para minas subterrâneas metálicas, não metálicas e de carvão. Para minas metálicas e não metálicas foram adoptadas como norma legal os padrões apresentados na Tabela 3.41 onde o limite final realiza-se sobre período de cinco anos, começando em 19 de Julho de 2002 e até 19 de Janeiro de 2006.

Em Portugal o padrão considera valores limite admissíveis relacionados com partículas com conteúdo de sílica livre e a norma legal correspondente expressa em forma geral (Tabela 3.42).

Tabela 3.40 – Mortalidade com cancro pela exposição a partículas emitidas por equipamentos diesel (*Federal register/Vol. 66, No. 13/Friday, January 19, 2001/Rule and Regulations E.U.A.*)

Estudo e modelo estatístico	Mortalidade por cancro pulmonar de trabalhadores expostos a poeiras de motor diesel (x1000) *			
	200 µg/m ³	500 µg/m ³	644 µg/m ³	808 µg/m ³
Saveri <i>et al.</i> (1999)				
Poisson, full coorte	15	44	61	83
Cox, full coorte	70	280	422	577
Poisson, sob coorte	93	391	563	693
Cox, sob coorte	182	677	761	802
Steenland <i>et al.</i> (1998)				
5 anos ,exposição logarítmica acumulada	67	89	95	101
5 anos, exposição simples acumulada	159	620	721	771
Johnston <i>et al.</i> (1997)				
15 anos, mina ajustada	313	724	770	800
15 anos, mina não ajustada	513	783	811	830

* Registos de 45 anos de exposição ocupacional a 1920 horas por ano desde 20 anos até 60 anos.

Tabela 3.41 – Valores limite admissíveis da concentração de partículas emitidas por motor diesel (*Federal register/Vol. 66, No. 13/Friday, January 19, 2001/Rule and Regulations e E.U.A.*)

Data	Concentração por 8 horas de exposição (µg/m ³)
19 de Julho 2002 até 19 de Janeiro 2006	400
> 19 de Janeiro 2006	160

3.3.5. Matriz base para a identificação do nível de impacte ambiental

A matriz para a identificação do nível de impacte ambiental pela presença da poeira respirável no ambiente subterrâneo, e também para dois poluentes mais comuns que são *sílica livre* (quartzo) e *partículas de motor diesel*, são apresentadas na Tabela 3.43 e na Tabela 3.44.

Tabela 3.42 – Valores limites admissíveis de poeiras em Portugal (Decreto-lei n.º 162/90, Decreto Legislativo n.º 708 – 709 do 06 de Novembro de 1991 de Portugal) e Peru (Decreto Supremo n.º 023-92-EM).

Portugal	Peru
1 mg/m ³ para > 25% de sílica livre	<200 Milhões de partículas/m ³
2 mg/m ³ para 6% ≤ sílica livre ≤ 25%	
3 mg/m ³ para < 6% de sílica livre	

Tabela 3.43 – Matriz base para a identificação do impacte ambiental subterrâneo devido à presença da poeira

Concentração de poeiras e sílica livre	Níveis de impacte devido a poeiras		
	Leve	Moderado	Alto
Para poeira com sílica livre < 5% (p1) mg/m ³	2 <p1≤3	3 <p1≤4	p1>4
Para poeira com sílica livre > 5% (p2) mg/m ³	0.05 <p2≤0.1	0.1 <p2≤0.15	p2>0.15
Partículas de motor diesel 8 horas (p3) µg/m ³	400<p3≤450	450 <p3≤500	p3>500

Esta nova forma de avaliação do impacte ambiental, para o caso de considerar dois poluentes, implica que um índice $IQA_p > 2$ indica um impacte ambiental negativo permitindo a identificação do índice de cada poluente em particular, pois é óbvio que o poluente ou poluentes que tenha ou tenham um *índice > 1 precisa ou precisam corrigir com aplicação de alguma medida correctiva.*

Tabela 3.44 – Matriz base para identificação do nível de impacte ambiental subterrâneo devido à presença da poeira baseado no índice de qualidade do ar IQA_p

Níveis de impacte ambiental devido a partículas de rocha e emissões de motor diesel (poeiras)		
Leve	Moderado	Alto
2< IQA_g ≤2.5	2.5< IQA_g ≤3	3< IQA_g

3.3.6. Medidas correctivas para o impacte ambiental pela presença da poeira

O homem, ao longo do tempo que explora o meio subterrâneo desenvolveu uma grande experiência na luta contra o efeito nocivo da poeira, embora não exista uniformização de padrões ou valores limite admissíveis. Os procedimentos de controle da poluição ambiental gerada pela poeira, são baseados fundamentalmente em:

- Mínima produção de poeira nas operações;
- Mínima produção da poeira com prevenção na fonte de poluição;
- Diluição mediante sistema de ventilação;
- Isolamento da zona poluída.

Recentes estudos realizados por MSHA dos E.U.A. indicam que, para manter a concentração da poeira nos níveis de padrões estabelecidos, as técnicas mais efectivas são a aplicação de água e sistemas de ventilação.

3.3.6.1. Aplicação da água

Na prevenção da formação de poeiras no ambiente subterrâneo, a aplicação da água é um procedimento muito importante. Uma técnica actualmente usada para minimizar a produção de poeira nas operações mineiras consiste na utilização directa da água em caudal e pressão adequados.

Na operação de perfuração, quer com equipamentos pneumáticos quer com hidráulicos, usa-se água aplicada directamente no fundo do furo e num ambiente praticamente fechado, permitindo este procedimento converter a rocha triturada (denominada *detritos*) em lama e ser expulsa nesta forma para o exterior.

O caudal mínimo recomendado é de 2.2 l/s por furo a uma pressão de 480 a 830 kPa, medida que consegue uma eficiência de 82 a 95% para partículas menores de 7 μm .

Na operação do desmonte de rochas, depois de cada disparo a concentração da poeira pode atingir de 1 até 1.5 g/m^3 , portanto a técnica de aplicação da água em quantidade e pressão adequados em área localizada de 10 a 15 m de distância ao local desmontado reduz a poeira respirável em ordem de 20 a 60% (Ondrey, R. S., *et al.*, 2001).

Na operação de remoção e transporte de rochas (minério) o procedimento utilizado é a aplicação dum jacto de água pulverizada (caudal e pressão adequados) ao material a remover no piso e hasteais das frentes de trabalho. É recomendável aplicar o jacto de água à pressão de 1035 kPa com uma direcção de 30° em relação ao sentido do escoamento de ar.

Aplica-se um jacto de água a alta pressão, devido às gotículas de água pulverizada serem eficientes supressores da poeira, pois permitem um maior contacto com as partículas da poeira, contudo as de maior tamanho (de água) não permitem o maior contacto com a superfície das partículas sólidas de poeira (fig. 3.38).

Existem vários métodos de utilização de água para reduzir a concentração das partículas em suspensão: o sistema de aplicação de água com mangueiras, pulverizadores de água com tambor interno ou externo, etc. Estes métodos baseiam-se na redução da saída de água e o aproveitamento da pressão gerada pela força da gravidade.

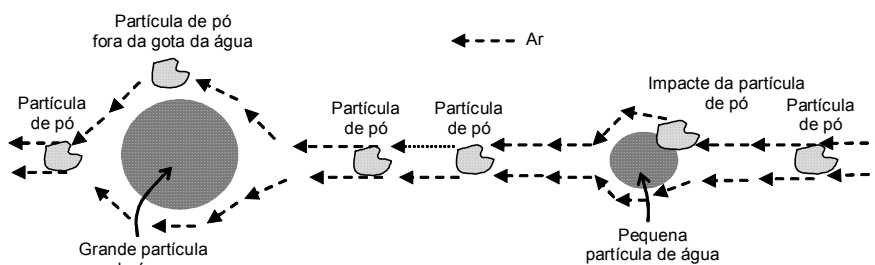


Figura 3.38 – Escoamento do ar à volta de grandes e pequenas gotas da água

3.3.6.2. Diluição mediante sistema de ventilação

Na atenuação da poluição ambiental devida à emissão de partículas pelos equipamentos com motor diesel, antes de adoptar a técnica da diluição por ventilação, é recomendável usar os sistemas de controle mediante a instalação dos dispositivos adicionais seguintes: a oxidação catalítica DOC (*Diesel Oxidation Catalysis*); filtros para emissão de partículas de óleo diesel DPF (*Diesel Particulate Filters*); redução catalítica selectiva SCR (*Selective Catalysis Reduction*); modificação do dimensionamento do motor em combinação com técnicas de controle da emissão; entre outros, que em termos de custos são baixos.

Como mostra a Tabela 3.27, a efectividade de redução da emissão de partículas de motor diesel resulta: >25% para Oxidação Catalítica; >90% para filtros; >30% para redução catalítica selectiva, Lean- NO_x Catalises, Lean- NO_x w/HC-injecção e Lean- NO_x Adsorção e de 80% para a redução catalítica com plasma.

A máscara de protecção individual contra a poeira deve ser sempre usada em locais com concentrações de poeira suspensa maior que o valor máximo admissível. Esta máscara tem duas partes principais: a estrutura com ergonomia adequada para o nariz (material flexível) e o filtro. Para uma adequada e efectiva utilização dos protectores individuais, a MSHA recomenda seguir os padrões ANSI Z88.21969 da *American National Standards Practice for Respiratory Protection*.

Estudos realizados pela MSHA dos E.U.A. (Ondrey, R.S., *et al.*, 2001) mostraram que para manter a concentração de poeira abaixo de 2 mg/m^3 precisa-se, aproximadamente de um caudal de ar de 0.14 a $0.57 \text{ m}^3/\text{min}$ por cada tonelada de material explorado por turno.

Para determinar o caudal de ar que dilua a concentração de poeira suspensa até níveis permissíveis Q_p (m^3/s) existem varias equações e entre elas é a equação (3.54), onde Q_t é a relação do caudal de ar por tonelada de produção ($\text{m}^3/\text{minuto.t}^{-1}$) que segundo Ondrey, R. S. este valor varia de 0.14 a $0.57 \text{ m}^3/\text{min}$, VLA_p o valor limite admissível da concentração da poeira, P a produção (t) e C_p a actual concentração de poeira (mg/m^3).

$$Q_p = \frac{Q_t \cdot VLA_p \cdot P}{60C_p} \quad (3.54)$$

Walli, R. A. (1982) propõe a equação (3.55) para calcular Q_p (m^3/s), em função da geração da poeira E_p (mg/min), a concentração admissível da poeira VLA_p (mg/m^3) e concentração de poeira no ar que entra C_{ep} (mg/m^3).

$$Q_p = \frac{E_p}{60(VLA_p - C_{ep})} \quad (3.55)$$

Quando há presença de dois tipos de poeiras (poeira metálica e poeira de motor diesel), o caudal de ar Q_p (m^3/s) pode ser calculado mediante a equação (3.56), onde Q_{ap} é o caudal de ar poluído com poeira (m^3/s) e IQA_p é o índice de qualidade do ar relacionado às partículas suspensas (poeira).

$$Q_p = Q_{ap} IQA_p \quad (3.56)$$

O índice de qualidade do ar IQA para partículas emitidas pelo motor diesel deve ser determinado, dependendo das condições em que se encontre o gás:

a) Quando a avaliação é baseada no gás (emitido pelo motor) antes da suspensão no ar, os valores do IQA devem ser relacionados à emissão do motor;

b) Quando a avaliação é baseada em partículas suspensas (emitidas pelo motor) no ar, os valores do IQA são os das amostras analisadas deste meio.

Quando é usada água para a mitigação da poeira, o caudal de ar fresco requerido Q_{pa} (m^3/s) é calculado com a equação (3.57) em função do factor de redução f (0.40 a 0.80).

$$Q_{pa} = fQ_p \quad (3.57)$$

Haney, R.A., *et al.* (2000), referem alguns padrões de caudal de ar para minas metálicas e não metálicas, que são de 0.05 a 0.13 m³/s/kW, que permitem obter uma concentrações de pó na ordem de 0.5 a 1 mg/m³.

3.3.6.3. Outras técnicas

a) *Humidificadores*: pode ser de sabão e/ou nafta com concentração de 0.05% ou uma mistura de sais de sódio com concentração de 0.15 a 0.2%.

Na perfuração da rocha a acção da água de limpeza actua sobre partículas de maior diâmetro, mas as partículas mais finas, devido à acção da forte tensão superficial da água, produzem uma humidade insuficiente, passando pó fino ao ambiente e constituindo poeira respirável.

Para eliminar este inconveniente adiciona-se à água de limpeza os denominados humidificadores, que aumentam a capacidade de recolha de pó pela água, uma vez que reduz a tensão superficial da gota (Ondrey, R.S. *et al.*, 2001).

b) *Colheita gravimétrica da poeira*: técnica utilizada quando não se usa água na perfuração, possuindo, os equipamentos um colector de poeira, que consiste num receptor, mangueira para condução, aspirador e filtro de poeira. A colheita consiste na aspiração, centrifugação e deposição.

c) *Isolamento*: é aplicável em pontos de transferência do material (estéril ou minério). A técnica consiste em isolar a zona dos pontos de transferência com lâminas metálicas e aspirar a poeira.

d) *Injecção da água sobre o maciço*: utilizado em minas de carvão que consiste em injectar água sob pressão aos pontos de arranque ou corte do maciço.

3.3.7. Monitorização e controle de poeiras

É evidente que a aplicação de uma medida correctiva para mitigar ou atenuar o impacte ambiental devido à concentração de poeiras, precisa dum acompanhamento durante a operação, o que garante a sua adequada aplicação e, dessa forma, obter a efectividade desejada, de modo que o ar do meio subterrâneo se conserve com boa qualidade.

O acompanhamento consistirá na monitorização e controle adequados e oportunos, para comparar a qualidade do ar ambiente com a qualidade estabelecida pelas normativas e padrões, e no caso de que serem detectadas algumas deficiências, realizar reajustes.

A EAS relacionada com poeiras na atmosfera subterrânea está sistematizada, considerando um processo que se inicia com a identificação das fontes de emissão, caracterização do ambiente e do gás, identificação do nível de impacte ambiental, procura de medidas de prevenção ou correcção do impacte identificado, implementação ou aplicação da alternativa mais técnica e economicamente viável, acompanhamento com sistema de monitorização e controle para comprovar a eficácia e efectividade da medida. A fig. 3.39 ilustra o processo descrito.

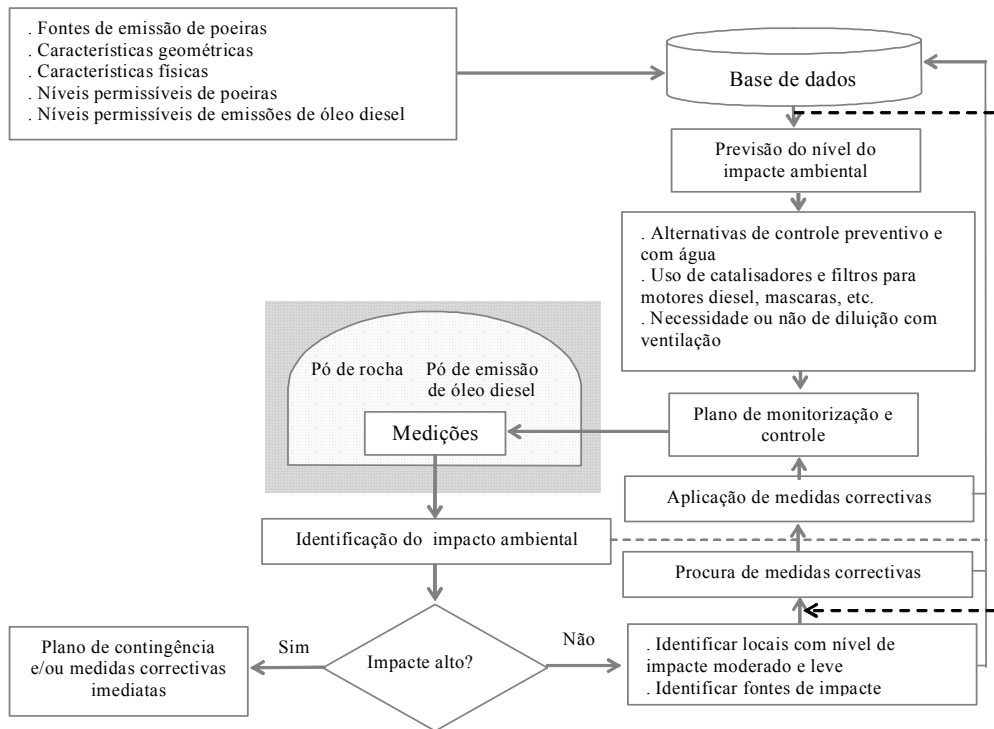


Figura 3.39 – Sistema de gestão de poeiras no ar do ambiente subterrâneo

Na monitorização e controle de poeiras é muito importante realizar medições sistemáticas utilizando técnicas que exigem uso de metodologias, equipamentos ou aparelhagem adequados (Tabela 3.45) como os que se usam para as análises qualitativas e quantitativas correspondentes. O instrumental a utilizar depende do tipo de medição a realizar, quer selectiva, quer não selectiva. Os aparelhos a utilizar deverão estar devidamente calibrados consoante aos padrões existentes, de modo que os resultados expressem as condições reais do ambiente.

Tabela 3.45 – Medição de poeiras e partículas no ambiente subterrâneo (Walli, R.A., 1982)

Medição não selectiva	Medição selectiva do pó respirável		
Amostragem não selectiva	Amostragem não selectiva	Amostragem selectiva	Amostragem selectiva
Avaliação não selectiva	Avaliação selectiva	Avaliação não selectiva	Avaliação selectiva
Filtro aberto Filtro de alto volume Precipitador electrostático Preicpitador térmico	Impinger Conímetro Precipitador térmico “Tyndaloscope” Sedimentação	Elutriador com filtro Precipitador térmico Ciclone com filtro Difracção Bomba com filtro selectivo	Difracção de raios X

3.4. Velocidade e Caudal de Ar

3.4.1. Efeitos da velocidade e caudal do ar no ambiente subterrâneo

A velocidade e caudal do ar no ambiente subterrâneo são parâmetros ambientais que, de maneira significativa, influenciam as condições da qualidade ambiental do ar respirável.

A importância ambiental da velocidade e caudal do ar deve-se ao facto de influenciarem as condições térmicas e a concentração de gases e poeiras. O esquema da fig. 3.40 ilustra esta característica, com os parâmetros de primeira ordem determinantes nos efeitos negativos gerados através dos de segunda ordem (temperatura, gases e poeiras).

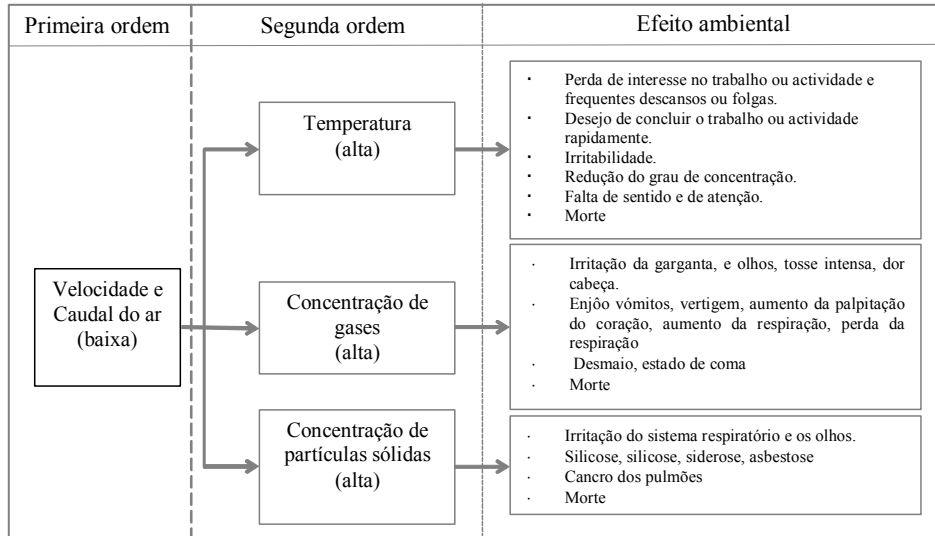


Figura 3.40 – Velocidade e caudal do ar como factor ambiental de primeira ordem na poluição do ambiente subterrâneo

O esquema mostra que a velocidade e o caudal de ar são factores ambientais de primeira ordem, pois o fluxo de ar com baixos valores de velocidade e caudal ocasiona consequentemente uma alta temperatura, uma alta concentração de gases e uma alta concentração de partículas sólidas (poeiras) e vice-versa, produzindo efeitos ambientais negativos e levando inclusivamente à morte.

Este facto é uma razão fundamental para prestar a devida atenção à análise e definição destes dois parâmetros dinâmicos do ambiente subterrâneo.

3.4.2. Fontes da velocidade e caudal

A velocidade e caudal do ar no ambiente subterrâneo são parâmetros que estão directamente relacionados entre si, dependendo do tamanho da escavação subterrânea, expressa pela secção da abertura.

As fontes da velocidade e caudal do ar nas aberturas subterrâneas estão relacionadas principalmente com a carga e a resistência da superfície de escavação ou abertura, estas últimas por sua vez estão influenciadas por outros parâmetros (fig. 3.41).

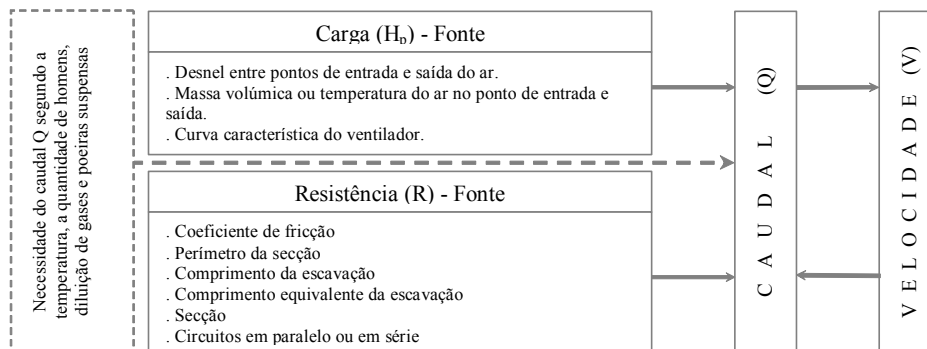


Figura 3.41 – Fontes da velocidade e caudal do ar no ambiente subterrâneo

A carga depende do seguinte conjunto de variáveis: o desnível entre pontos de entrada e saída do ar; a massa volúmica ou temperatura do ar no ponto de entrada e saída; a curva característica do ventilador e a curva característica da mina ou ambiente subterrâneo.

A resistência da abertura subterrânea é função das seguintes variáveis: o coeficiente de fricção; o perímetro; a secção e o comprimento da abertura; a sinuosidade, as bifurcações e as bruscas variações da secção; e tipo de circuito de ar (paralelo ou série).

O esquema ilustra que o caudal total ou caudal nos locais de trabalho é função da quantidade máxima de homens presentes, da necessidade de diluição dos gases e partículas suspensas e ainda da temperatura transmitida à atmosfera subterrânea.

Porém, as fontes que determinam o maior ou menor caudal e respectiva velocidade do ar são a *carga*, que é função do tipo de ventilação (natural ou artificial) e a *resistência*, que é determinada pelos parâmetros físicos do ambiente.

3.4.3. Caracterização da situação da velocidade e caudal

3.4.3.1. Caudal mínimo requerido para o ambiente subterrâneo

O caudal mínimo total, Q_{mt} (m³/s), necessário para o ambiente subterrâneo é calculado mediante a equação (3.58). Esta expressão traduz a soma parcial dos caudais mínimos relativos à quantidade máxima de homens presentes Q_h (m³/s); situação de conforto térmico Q_t (m³/s); concentração de gases Q_g (m³/s); e poeiras ou partículas sólidas Q_p (m³/s).

$$Q_{mt} = Q_h + Q_t + Q_g + Q_p \quad (3.58)$$

No cálculo do caudal mínimo Q_h (m³/s) para uma quantidade máxima de N homens recomenda-se a equação (3.59) que é dada em função da quantidade mínima de ar q (m³/s.homem) contemplada pelos padrões ou normas legais.

$$Q_h = qN \quad (3.59)$$

O caudal de ar para o arrefecimento de altas temperaturas, Q_t (m^3/s), é calculado para duas situações: aberturas subterrâneas com altas temperaturas ($>1.05T_{sm}$, onde T_{sm} é a temperatura seca máxima admissível pela norma ou padrões) influenciadas pela temperatura da rocha virgem e outros factores já estudados e ainda pela presença de águas termais. Nestes cálculos utilizam-se os modelos matemáticos desenvolvidos e expressos nas equações (3.24), (3.29) e (3.30).

O caudal mínimo requerido para a diluição dos gases, Q_g (m^3/s), calcula-se utilizando qualquer uma das equações: (3.40); (3.41); (3.42); (3.43); (3.44); (3.45); e (3.46).

No caso de existirem simultaneamente várias fontes de gases, o cálculo efectua-se separadamente para cada fonte. Quanto ao caudal total mínimo requerido para a diluição dos gases determina-se através do somatório dos caudais mínimos parciais para todas as fontes.

Tipicamente nas operações mineiras, o tempo de diluição destes gases acontece em diferentes momentos. Por exemplo a produção de gases devidos aos rebentamentos dos explosivos sucedem num momento diferente da produção dos gases gerados pelos equipamentos com motor diesel (de remoção e/ou transporte). Neste caso, é necessário calcular separadamente para cada caso e considerar o maior caudal na situação mais desfavorável.

Assim, o caudal mínimo de ar requerido para diluir a concentração de poeiras (partículas sólidas suspensas no ar) determina-se com qualquer uma das equações: (3.54); (3.55); (3.56); e (3.57).

Geralmente o cálculo do caudal mínimo total de ar requerido num ambiente subterrâneo é obtido utilizando a equação (3.73) que considera os valores limites admissíveis relativos à quantidade máxima de homens e à potência total máxima dos equipamentos com motor diesel.

3.4.3.2. Caracterização dos parâmetros que influem na velocidade e caudal do ar

A velocidade de ar V (m/s) no ambiente subterrâneo é resultado duma simples relação que está expressa na equação (3.60) em função do caudal de ar Q (m^3/s) e a secção da escavação subterrânea (m^2).

$$V = \frac{Q}{S} \quad (3.60)$$

O caudal de ar é um parâmetro aerodinâmico que depende da diferença de pressão ou da carga H_p (Pa) e da resistência oferecida pela superfície das escavações R (Ns^2/m^4), cuja relação é definida pela equação de Atkinson (3.61) (*Mine Ventilation Services Inc.*, 1999)

$$Q = \left(\frac{H_p}{R} \right)^{0.5} \quad (3.61)$$

A resistência R é calculada com a equação (3.62) determinada por Atkinson, em função das características físicas da abertura subterrânea: o coeficiente de fricção f (Ns^2m^{-4} ou kg/m^3); perímetro da secção P (m); comprimento da escavação L (m); comprimento equivalente L_e (m); e secção S (m^2).

$$R = \frac{fP(L + L_e)}{S^3} \quad (3.62)$$

O coeficiente de fricção f é determinado utilizando os conhecidos valores experimentais indicados na Tabela 3.46 que são função do tipo de escavação, irregularidades na superfície da abertura, sinuosidade e obstrução.

O perímetro da escavação P também varia em função da forma adoptada e do método de escavação usado, calculando-se mediante as simples equações:

Circular: $P = 3.1416d$, onde P = perímetro (m), d = diâmetro (m).

Rectangular: $P = 2(B + A)$, onde B = base (m) e A = altura (m).

Trapezoidal: $P = B + b + (4h^2 + B^2 - 2bB + b^2)^{0.5}$, onde B = base maior
 b = base menor (m) e h = altura (m).

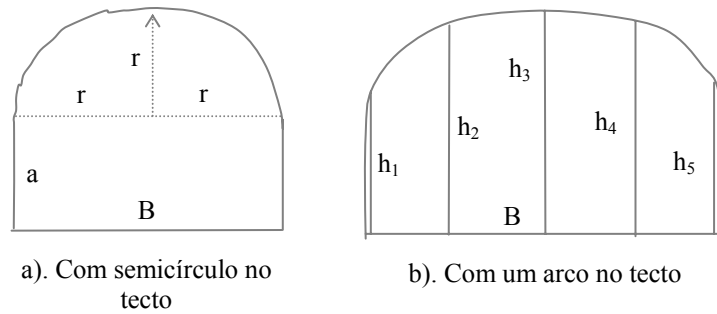
Com semicírculo no tecto: $P = 5.1416r + 2a$, (fig. 3.4.4.a)

Com um arco no tecto: $P = 0.6398S - 0.0047S^2 + 6.9887$, para $S > 12\text{m}^2$
 $P = 1.3886S - 0.0405S^2 + 2.97178$, para $S < 12\text{m}^2$

Nestas equações a representa a altura dos hasteais (m), r ao raio do semicírculo do tecto (m) e h_1, h_2, h_3, h_4, h_5 às alturas (m). O detalhe de estas dimensões é ilustrado na fig. 3.42.

Tabela 3.46 – Coeficientes de fricção segundo Bureau of Mines de E.U.A.(Hartman, H.L. et al., 1982; Ramani, R.V., 1992 e Mine Ventilation Services, Inc., 1999)

Tipo de escavação	Irregularidades na superfície e na área	Valores de f ($\text{N}\cdot\text{s}^2\cdot\text{m}^{-4}$ ou $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)											
		Sinuosidade (ou grau de deflexão da curva)											
		Direito			Suave			Moderado			Elevado		
		Sem obstrução	Ligeira obstruída	Moderada obstruída	Sem obstrução	Ligeira obstruída	Moderada obstruída	Sem Obstrução	Ligeira obstruída	Moderada obstruída	Sem obstrução	Ligeira obstruída	Moderada obstruída
	Mínimo	0.0019	0.0028	0.0046	0.0037	0.0046	0.0065	0.0046	0.0056	0.0074	0.0065	0.0074	0.0093
	Médio	0.0028	0.0037	0.0056	0.0046	0.0056	0.0074	0.0056	0.0065	0.0083	0.0074	0.0083	0.0102
	Máximo	0.0037	0.0046	0.0065	0.0056	0.0065	0.0083	0.0065	0.0074	0.0093	0.0083	0.0093	0.0111
Sedimentar (carvão)	Mínimo	0.0056	0.0065	0.0083	0.0074	0.0083	0.0102	0.0083	0.0093	0.0111	0.0102	0.0111	0.0130
	Médio	0.0102	0.0111	0.0130	0.0121	0.0130	0.0148	0.0130	0.0139	0.0158	0.0148	0.0158	0.0176
	Máximo	0.0130	0.0139	0.0158	0.0148	0.0158	0.0176	0.0158	0.0176	0.0186	0.0176	0.0186	0.0204
Madeirada (de 1.5m)	Mínimo	0.0148	0.0158	0.0176	0.0167	0.0176	0.0195	0.0176	0.0186	0.0204	0.0195	0.0204	0.0223
	Médio	0.0176	0.0186	0.0204	0.0195	0.0204	0.0223	0.0204	0.0213	0.0232	0.0223	0.0232	0.0250
	Máximo	0.0195	0.0204	0.0223	0.0213	0.0223	0.0241	0.0223	0.0232	0.0250	0.0241	0.0250	0.0269
Rocha do tipo ígnea	Mínimo	0.0167	0.0176	0.0195	0.0186	0.0195	0.0213	0.0195	0.0204	0.0223	0.0213	0.0223	0.0241
	Médio	0.0269	0.0278	0.0297	0.0288	0.0297	0.0306	0.0297	0.0306	0.0325	0.0315	0.0325	0.0362
	Máximo	0.0362	0.0371	0.0390	0.0380	0.0390	0.0408	0.0390	0.0399	0.0417	0.0408	0.0417	0.0436



a). Com semicírculo no tecto

b). Com um arco no tecto

Figura 3.42 – Secções típicas das aberturas subterrâneas

O comprimento L (m) é obtido no projecto ou mediante medição directa e os valores experimentais do comprimento equivalente L_e (m) são determinados utilizando a Tabela 3.47 que está definida pelas curvaturas, ângulos, cruzamentos, entradas e saídas de ar, contracções, expansões, obstruções, bifurcações e junções.

Tabela 3.47 – Comprimento equivalente L_e (m) (Hartman, *et al.*, 1982; Ramani, R.V., 1992 e Mine Ventilation Services, Inc., 1999)

Singularidade que origina a perda de carga por choque	L_e (m)	Singularidade que origina a perda de carga por choque	L_e (m)
Curva aguda arredondada	0.9144	Contracção gradual	0.3048
aguda com vértice	45.7200	abrupta	3.0480
recta arredondada	0.3048	Expansão gradual	0.3048
recta com vértice	21.3360	abrupta	6.0960
obtusa arredondada	0.1524	Bifurcação (1 trecho direito)	9.1440
obtusa com vértice	4.5720	(trecho deflectido a 90°)	60.9600
Porta de ventilação	21.3360	Junção (1 trecho direito)	18.2880
Cruzamento desnivelado	19.8120	(trecho deflectido a 90°)	9.1440
Entrada da mina (livre)	0.9144	Veículo (20% da cavidade)	30.4800
Descarga da mina (livre)	19.8120	(40% da cavidade)	152.4000

A secção S obtém-se do projecto e no caso da mina em operação mediante medição topográfica directa. Quando seja necessário, as equações indicadas a seguir são úteis na determinação da secção da escavação:

Circular: $S = 0.7854d$, onde S : secção (m^2) e d : diâmetro (m).

Rectangular: $S = B.A$, onde B : base (m) e A : altura (m).

Trapezoidal: $S = A(B + b)/2$, onde B : base maior (m), b = base menor (m).

Arco no tecto: $S = 0.13125B(h_1 + 2 h_2 + 2 h_3 + 2 h_4 + h_5)$ (m^2) (fig. 3.42.b)

Semicircular no tecto: $S = 2ar + 1.5708 r^2$ (m^2) (fig. 3.42.a)

No caso de locais denominados *fundo de saco* o fluxo de ar é aplicado mediante sistema forçado (ventilador) e utilizando manga de ventilação (fig. 3.43), como no caso de túneis, galerias, rampas, poços, chaminés, etc. e em alguns desmontes (*Rom & Pillar, Bench & Fill, Drift & Fill, Sub Level Stopping*, etc.).

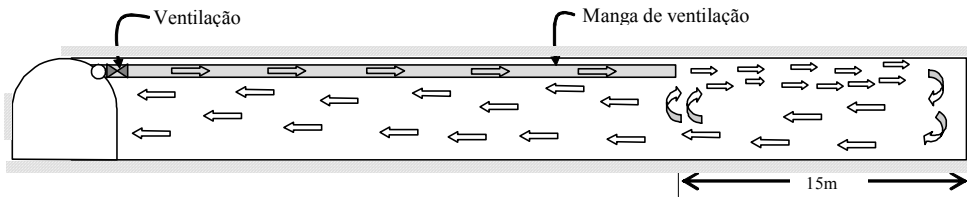


Figura 3.43 – Ventilação dum ambiente denominado *fundo de saco*

Para calcular o caudal de ar Q (m^3/s) nestes casos, desenvolveu-se a equação (3.63) utilizando os fundamentos da ventilação de minas e em função de λ que é o factor da perda de carga na manga (Tabela 3.48) e do diâmetro D da manga de ventilação (m).

$$Q = \left(\frac{H_p}{L \left(\frac{0.98\lambda}{D^5} + \frac{fP}{S^3} \right) + \frac{fPL_e}{S^3}} \right)^{0.5} \quad (3.63)$$

Tabela 3.48 – Valores do factor de perda de carga na manga (López Jimeno, C., 1997)

Tipo de manga	Rígidas			Flexíveis	
	Plástico (polietileno)	Metálica (lisa)	Contracapa de madeira	Bem suspensa	Mau suspensa
λ	0.0180	0.0205	0.0220	0.0210	0.0260

Nesta situação a carga total H_p que intervêm na equação (3.63) é uma variável que depende da capacidade volumétrica do ventilador (caudal de ar) definida pela correspondente *curva característica*. Portanto, para um caudal mínimo admissível na frente de fundo de saco Q_m (m^3/s) e para uma perda de carga H_v (Pa) o ventilador tem uma capacidade de fornecer ar até um comprimento máximo de manga L_{max} (m) cuja expressão matemática está indicada na equação (3.64).

$$L_{max} = \frac{\frac{H_v}{S^3} - \frac{fPL_e}{S^3}}{\frac{0.98\lambda}{D^5} + \frac{fP}{S^3}} \quad (3.64)$$

Quando as condições do ambiente subterrâneo permitem uma ventilação natural, a carga H_p (Pa) é expressa mediante a equação de Atkinson (3.65), onde $H_n = H(\rho_1 - \rho_2) = P_1 - P_2$; $H = z_2 - z_1$, na que H é a diferença entre a cota do ponto de entrada (z_2) e de saída (z_1) de ar (m); ρ_1 e ρ_2 representam a massa volúmica média de ar no ponto de entrada e saída (kg/m^3), P_1 e P_2 (Pa) são as pressões no ponto de entrada e saída do ar, R é a resistência (Ns^2/m^4) e Q é o caudal do fluxo de ar (m^3/s).

$$H_n = RQ^2 \quad (3.65)$$

No sistema de ventilação forçada, o caudal de ar q (m^3/s) determina-se a partir das curvas características do ambiente subterrâneo e do ventilador (fig. 3.44), através do seu assim define o caudal procurada para uma perda de pressão h (Pa).

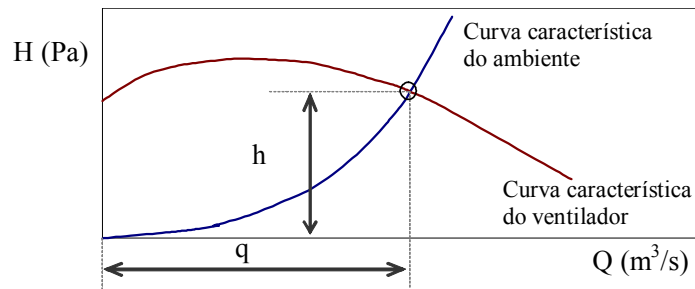


Figura 3.44 – Caudal de ar dum ventilador para as condições do ambiente subterrâneo

3.4.3.3. Caracterização aerodinâmica dos circuitos de ar no ambiente subterrâneo

Para caracterizar os circuitos de ar no ambiente subterrâneo aplicam-se as leis de Kirchhoff desenvolvidas para circuitos em série e paralelos.

Em circuitos de ar em série verificam-se as equações a seguir:

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = Q_n \quad (3.66)$$

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n = R_1 Q_1^2 + R_2 Q_2^2 + R_3 Q_3^2 + \dots + R_n Q_n^2 \quad (3.67)$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (3.68)$$

De igual modo, em circuitos de ar em paralelo, verificam-se as equações seguintes:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n \quad (3.69)$$

$$H = h_1 = h_2 = h_3 = \dots = h_n \quad (3.70)$$

$$R_{eq} = \left\{ 1 / \left[1 / R_1^{0.5} + 1 / R_2^{0.5} + 1 / R_3^{0.5} + \dots + 1 / R_n^{0.5} \right] \right\}^2 \quad (3.71)$$

$$R_{eq} Q^2 = R_1 Q_1^2 = R_2 Q_2^2 = R_3 Q_3^2 = \dots = R_n Q_n^2 \quad (3.72)$$

Nas equações (3.66) a (3.72) Q , H e R_{eq} representam o caudal, a carga e a resistência total ou equivalente, respectivamente; Q_1, Q_2, Q_3, Q_n , h_1, h_2, h_3, h_n , R_1, R_2, R_3, R_n representam os caudais, depressões e resistências nos ramos dos circuitos de ar.

3.4.4. Normas e padrões de qualidade ambiental dinâmico e volumétrico

Um homem em repouso precisa de aproximadamente 7 litros por minuto de ar com 19 a 20% de oxigénio, no caso de estar em actividade (trabalho) e pode aumentar até 25 litros por minuto, podendo atingir mesmo 40 litros por minuto quando o esforço é considerável (Tabela 3.49).

Tabela 3.49 – Requisitos de ar nas actividades do homem (Hartman, H. L. et al., 1982)

Nível de actividade	Ritmo de respiração (respiração/min.)	Ar inalado		Consumo O ₂ 10 ⁻⁵ m ³ /s	Relação de respiração
		10 ³ (mm ³ /respiração)	10 ⁻⁴ (m ³ /s)		
Repouso	12 – 18	377 – 705	0.82 – 2.18	0.47	0.75
Moderado	30	1476-1968	7.64-9.83	3.30	0.90
Alto	40	2460	16.40	4.70	1.00

Em Portugal o Decreto-Lei n.º 162/90 de 22 de Maio no Capítulo X (Ventilação) no seu Artigo 76.º indica que o caudal de ar introduzido na mina deve ser suficiente para que se possa dispor, pelo menos, de 50 l/s de ar fresco por cada homem presente no turno mais numeroso. Em sectores onde se utilize equipamento diesel o caudal de entrada de ar deve ser, pelo menos, o indicado no anterior, acrescido de 35 l/s/hp instalado. No Artigo 77.º indica que a velocidade do ar nos trabalhos subterrâneos onde circulem trabalhadores não deve ultrapassar 8 m/s nem ser inferior a 0.2 m/s (Tabelas 3.50 e 3.51).

No Peru os padrões de qualidade dinâmica do ar são definidos pelo D.S. n.º 023/92/EM, que no Artigo 292 e 293 indica que quando as minas se encontram localizadas em cotas de 0 até 1500 metros acima do nível do mar, a quantidade mínima de ar nos locais de trabalho por cada homem será de 3 m³/minuto (0.05 m³/s). Em outras altitudes a quantidade do ar será concordante com a escala seguinte:

- 1500 – 3000 m, aumentará em 40% e será igual a 4m³/minuto (0.067 m³/s);
- 3000 – 4000 m, aumentará em 70% e será igual a 5 m³/minuto (0.083 m³/s);
- acima dos 4000 m, aumentará em 100% e será igual a 6 m³/minuto (0.10 m³/s).

A norma, além disso indica que no caso de usar-se equipamentos com motor diesel, a quantidade de ar circulante não será menor de 3 m³/minuto (0.05 m³/s) por cada hp de potência de motor.

A norma peruana contempla que nas frentes de exploração, desenvolvimento e em todo local com presença de pessoal a velocidade não deverá ser menor que 20 m/minuto (0.33 m/s) nem superior a 250 m/minuto (4.17 m/s). No caso se usar explosivo ANFO ou outros agentes de desmonte, a velocidade do ar não será menor que 250 m/minuto (0.417 m/s)(Tabelas 3.50 e 3.51).

Tabela 3.50 – Valores mínimos admissíveis de caudal de ar em Portugal e em Peru

Portugal		Peru	
D.L. n.º 162/90, Artigo no 76		D.S. n.º 023/92/EM, Artigo n.º 292 e 293	
Caudal mínimo q por homem l/s (m ³ /s)	Acréscimo por cada hp de motor diesel l/s (m ³ /s)	Caudal mínimo q em função da altitude l/s (m ³ /s)	Acréscimo por cada hp de motor diesel l/s (m ³ /s)
50 (0.05)	35 (0.035)	<1500m (50) (0.05) 1500-3000m (70) (0.07) 3000-4000m (80)(0.08) >4000m (100) (0.10)	≥ 50 (≥0.05)

Tabela 3.51 – Velocidade de ar mínima admissível em Portugal e Peru

Portugal		Peru
DL n.º 162/90, Artigo no 77		D.S. n.º 023/92/EM, Artigo n.º 294
Velocidade V (m/s)	Casos especiais	Velocidade V (m/s)
0.20 <V <8.0	Velocidade para temperaturas $T_s \leq 35^\circ\text{C}$ $T_h \leq 30^\circ\text{C}$	0.25 <V <4.17

Para uso de *equipamentos com motor diesel* o caudal de ar recomendado varia de 6.9 m³/s a 7.9 m³/s por cada 100 KW, para uma altitude de 3000 metros acima do nível do mar (Calizaya, F. *et al.*, 1999).

3.4.5. Matriz base para a identificação do impacte ambiental dinâmico e volumétrico

Baseado nas normas de Portugal (Decreto-lei n.º 162/90), do Peru (D.S. n.º 023/92/EM) e nos padrões dos E.U.A. determinados por MSHA elaborou-se a matriz base para a identificação do impacte ambiental dinâmico (velocidade) e volumétrico (caudal) em três níveis: *leve, moderado e alto* (Tabela 3.52).

Tabela 3.52 – Matriz base para a identificação do impacte ambiental dinâmico e volumétrico (baseado em normas de Portugal, Peru e E.U.A.)

Tipo de impacte	Níveis de impacte ambiental		
	Leve ▽	Moderado ⊗	Alto ◆
Dinâmico (m/s) V	0.2 ou 0.25 > V ≥ 0.15 4.17 ou 8 < V ≤ 9	0.15 > V ≥ 0.10 9 < V ≤ 10	V < 0.10 V > 10
Volumétrico (m ³ /s) Q	q* > Q ≥ 0.9q*	0.9q* > Q ≥ 0.7q*	Q < 0.7q*

* q : caudal de ar mínimo permitido pelo Decreto-lei n.º. 162/90 (Portugal) ou Decreto Supremo n.º 023/92/EM (Peru)

O caudal mínimo q (m³/s) indicado na Tabela 3.52 é determinado mediante a equação (3.73) definida pelo valor limite admissível do caudal VLA_h (m³/s.homem), pela quantidade de homens N (homens), pelo valor limite admissível para equipamentos com motor diesel VLA_d (m³/s.hp) e pela potência do motor do equipamento a diesel P_m (hp).

$$q = VLA_h N + VLA_d P_m \quad (3.73)$$

3.4.6. Medidas correctivas para reduzir o impacte ambiental aerodinâmico

Na hipótese de que o caudal total de ar fresco seja abastecido por ventilação natural é preciso fazer uma frequente monitorização ao longo do ano, pois devido às alterações da temperatura exterior, pode ocorrer mudança no sentido, velocidade e caudal do ar da atmosfera subterrânea, fenómeno que provocam problema ambiental dinâmico e volumétrico; nesta situação, ou quando a ventilação natural não fornece o caudal mínimo

requerido a todas as frentes de trabalho, a solução ou medida correctiva é a aplicação de sistemas de ventilação forçada (ventiladores), transformando-se em ventilação mista (fig. 3.45).

Em condições de não ser possível uma ventilação natural é preciso utilizar a técnica da ventilação forçada mediante ventiladores (centrífugos, axiais ou radiais).

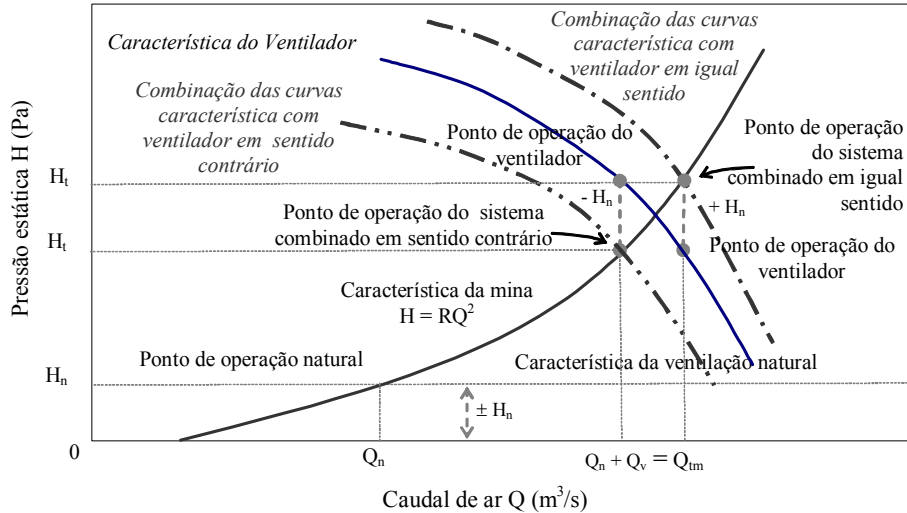


Figura 3.45 – Operação de ventilador associado com ventilação natural (baseado em Turcic, P.M., et al., 1982)

A selecção do tamanho e do número de ventiladores é baseada na curva característica da mina ou ambiente subterrâneo e a curva característica do ventilador (fig. 3.46). A curva característica da mina ou ambiente subterrâneo é definida pela equação (3.61) e a do ventilador é própria do dimensionamento do equipamento, por conseguinte é proporcionada pelo fabricante.

A capacidade volumétrica Q_v e de carga H_v do ventilador são função das características do equipamento e do ar, que são determinados mediante as equações (3.74) e (3.75), respectivamente. Nestas equações n é a velocidade de rotação do ventilador, D é o diâmetro do ventilador e ρ_a é a massa volúmica do ar.

$$Q_v = nD^3 \quad (3.74)$$

$$H_v = n^2 D^2 \rho_a \quad (3.75)$$

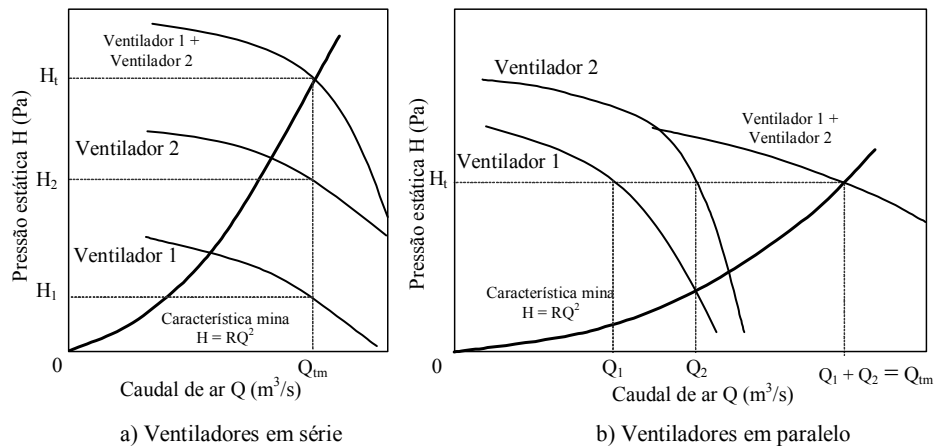


Figura 3.46 – Curva característica de ventiladores em série e paralelo em relação com a curva característica da mina (Turcic, P.M., et al., 1982)

A potência de motor do ventilador P_v (KW) necessária para uma medida correctiva calcula-se com a equação (3.76), que está dada em função do caudal Q (m^3/s), da carga H_t (Pa) e eficiência η do ventilador.

$$P_v = \frac{H_t Q}{1000\eta} \quad (3.76)$$

No processo de análise de alternativas na procura de medidas correctivas para atenuar o impacte ambiental dinâmico e volumétrico, em redes de ventilação complexas é recomendável usar programas de computador (VnetPC2000, Ventsim, Vuma, Mivena, etc.).

3.4.7. Monitorização e controle

A monitorização e controle do caudal e velocidade do ar no ambiente subterrâneo estão relacionados com as medições a realizar nas redes de ar da atmosfera subterrânea, utilizando equipamentos devidamente calibrados e procedimentos (padrões) que garantam a fiabilidade dos dados a obter.

A base para a monitorização da velocidade e caudal de ar é a caracterização da rede ou circuito de ar, formados por nós, ramos, junções e disjunções, e o sentido de escoamento. Os nós são representados com números e os ramos com setas cujo sentido indica a direcção do escoamento do ar.

Na elaboração das redes de ar é importante distinguir as redes de ar fresco e ar poluído, localização de ventiladores, portas de ventilação, cortinas, orifícios equivalentes, etc.

Os *parâmetros geométricos* a serem medidos nas aberturas subterrâneas são: a secção, o perímetro e o comprimento. As *características físicas das escavações* são relacionadas com o tipo de rocha hospedeira, o revestimento ou tipo de suporte, nível de

obstrução, grau de sinuosidade, curvatura, ângulo, contracção, expansão, ramificação, entrada, descarga e junção.

Os trabalhos de monitorização devem-se planear e realizar em três etapas:

1ª Etapa: o trabalho é em gabinete e consiste na elaboração da rede de ar preliminar identificando nós (enumerados), trechos e sentido de escoamento do ar, baseado nos mapas topográficas existentes e informação do departamento de ventilação de minas. Nesta etapa é ainda recomendável elaborar um plano e programa de monitorização.

2ª Etapa: baseada na rede preliminar e no programa de monitorização, deve medir a velocidade de ar em todos os trechos identificados, usando um *anemómetro* devidamente calibrado, verificar o sentido do escoamento, medir os parâmetros geométricos e físicos das aberturas subterrâneas e registar devidamente os dados.

3ª Etapa: os registos das medições são consolidados para o seu processamento e interpretação dos resultados. A análise é relacionada com a identificação dos locais de impacte ambiental dinâmico e volumétrico, a procura de medidas correctivas para locais com risco ambiental com uso de programas de computador. A melhor alternativa técnico/económica será aplicada como medida correctiva no caso de ser uma acção inicial, ou como medida de reajuste, no caso de ser para uma medida já adoptada.

Para a parte de medições dos parâmetros aerodinâmicos do ar, existe uma gama de aparelhagem (Tabela 3.53) desde o convencional até o mais sofisticado e informatizado.

Tabela 3.53 – Instrumentos para medição da velocidade e parâmetros geométricos (Laboratório de Ambiente Subterrâneo do IST Lisboa)

Instrumento	Alcance da velocidade (m/s)	Sensibilidade (m/s)	Precisão (%)	Característica
Anemómetros	Baixa 0.1 – 0.6 Media 0.6 – 10 Alta 10 – 50	0.03 – 0.05 0.05 – 0.103 0.30 – 0.51	70 – 90 80 – 90	Digitais, precisam calibrar e manutenção. Uso geral
Sondas Data Logger	0.1 - ?	Muito Boa	Muito boa	Possui sonda de velocidade, temperatura. Pressão barométrica e humidade relativa. Possui software.
Tubo de Pitot	3.5 – 50	0.05 – 0.103	90 – 98	Para mangas de ventilação.
Distanciómetro, Fita métrica, etc.	-	-	Muito boa	Para medição de parâmetros geométricos.

O sistema automático de aquisição de dados *Data Logger* é um equipamento munido de sondas para medições de velocidade do ar, temperatura, pressão atmosférica e humidade relativa, aplicável para medições em locais onde não há deslocamento de equipamentos, dado a que podem-se programar medições de longo tempo (24, 48 ou mais horas) com intervalos de segundos ou minutos. O aparelho possui memória que lhe

permite armazenar as medições previamente programadas, e uma vez concluída a monitorização e transmitir os dados a um computador usando o programa DL.exe.

Ligando o equipamento a um computador, este aparelho permite observar em tempo real, a tendência da pressão barométrica, temperaturas e humidade relativa.

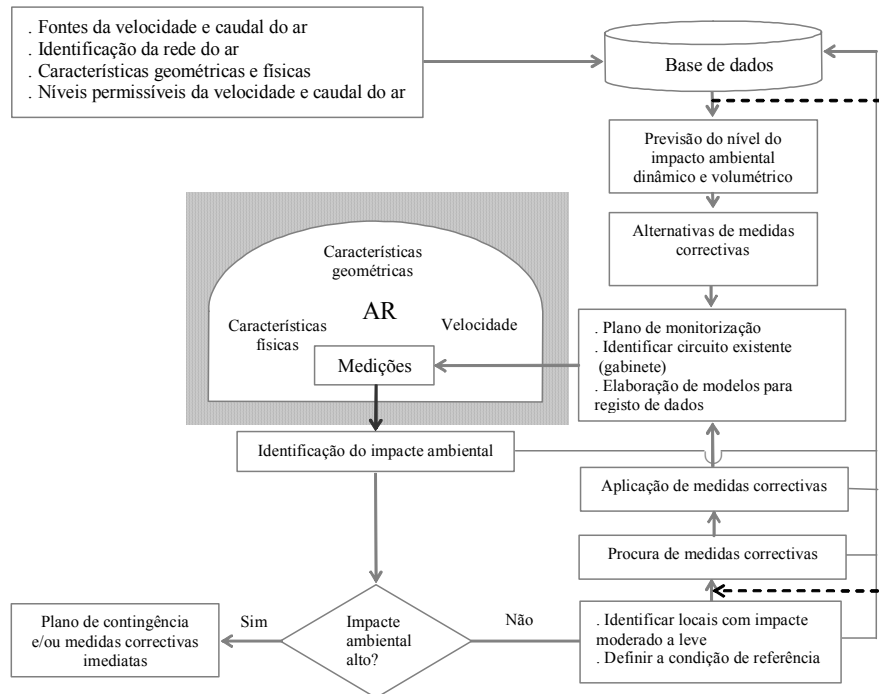


Figura 3.47 – Sistema de gestão da velocidade e caudal do ar no ambiente subterrâneo

A engenharia ambiental subterrânea orientada para a conservação duma adequada qualidade ambiental, consoante aos padrões e normas relacionados à velocidade e caudal, baseia-se nos conhecimentos da ventilação de minas, os que são aplicados na caracterização da situação aerodinâmica da atmosfera subterrânea, identificação de níveis de impacte ambiental aerodinâmico negativo e procura de alternativas técnica e economicamente viáveis no controle e conservação duma qualidade do ar aceitável. A fig. 3.47 ilustra o processo sistémico, ordenado e sequencial de todas estas acções que coadjuvam para uma boa gestão ambiental.

3.5. Iluminação e Radiação

3.5.1. Efeitos ambientais da iluminação e radiação

Uma falta ou deficiência da iluminação no ambiente subterrâneo produz riscos de acidentes e detrimento no rendimento nas actividades laborais do homem, afectando seriamente a sua segurança.

Estudos realizados numa mina de carvão na Rússia indicam que a introdução de lâmpadas fluorescentes, permitiu aumentar a produção em 3.5% e reduzir acidentes em 40%.

De igual forma a introdução de lanternas com alimentação de energia mediante bateria mostraram a influência da iluminação na percentagem de acidentes seguintes: 20 lux como referência para 100%, 200 lux reduziu para 68% e 250 lux para 58% (Austin, B.A., 1982).

A radiação no ambiente subterrâneo é associada com a mineração do urânio, na qual a radioactividade deste elemento afecta o organismo humano, mediante a desintegração (ionização) radioactiva.

No processo do empobrecimento do elemento primário do urânio ^{238}U até chumbo ^{206}Pb , o radon ^{222}Rn descompõe-se em curto espaço de tempo no processo de geração de outros elementos, comportamento radioactivo que é nocivo à saúde, produzindo cancro no organismo humano exposto (geralmente os pulmões).

3.5.2. Fontes da iluminação e radiação

As fontes da iluminação usadas no ambiente subterrâneo são accionadas por energia eléctrica e entre as mais usadas são: lâmpadas de filamento, lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de vapor de sódio e lâmpadas de alta intensidade (Tabela 3.54), que usam energia de 120 a 240 V.

A fonte de iluminação individual é a lâmpada eléctrica de capacete a bateria. Estes acumuladores são de tipo ácido com autonomia máxima de 9 a 14 horas com 4 volts de capacidade e de uso na parte frontal do protector ou capacete (fig. 3.48)



Figura 3.48 – Lâmpadas individuais de capacete (http://www.msa.cl/fr_catalogo.html)

Tabela 3.54 – Fontes de iluminação em aberturas subterrâneas (elaborado baseado em Vutukuri, V.S., *et al.*, 1986; Trotter, D.A., 1977)

Lâmpadas	Potência	Luminosidade (cd/m ²)	Vida útil (h)	Eficiência (lm/W)	Custo (Base 1)
Filamento tungst	0.1W - 20W	10000-1000000	750 - 1000	10 - 15	7
Fluorescente	4W - 65W	50000-200000	500 - 30000	35 - 85	3
Vapor Hg	50W - 100W	100000-1000000	10000 - 24000	35 - 60	6
Na alta pressão	-	1000000	12000 -24000	110 - 130	1
Na baixa pressão	-	100000	10000-18000	-	5

Como exemplo citam-se as lanternas fabricadas por MAS (*Mine Safety Appliances Company*) que têm uma autonomia máxima de 14 horas (recomendável 9 horas), cabo de 1.45 m (2.27 Ω /100 m) e bateria de 4 volts (Tabela 3.55)

Tabela 3.55 – Lanternas pessoais a bateria (http://www.msa.cl/fr_catalogo.html)

Tipo de lanterna	Lâmpada		Peso da bateria
	Principal	Auxiliar	
MKIII	700 mA	450 mA	2.6 kg
Ultralight	1000 mA	1000 mA	1.5 kg
MLZ	1160 mA	1160 mA	1.5 kg

As fontes da radiação em minas de urânio estão relacionadas com a sua propriedade de radioatividade ou instabilidade da estrutura atômica. O elemento primário urânio 238 (U^{238}) muda de número e massa atômica até alcançar a sua estabilidade em chumbo 206 (Pb^{206}) (fig. 3.49).

A fonte de radiação mais perigosa para a saúde do homem acontece no rápido processo da desintegração do gás radon Rn (Tabela 3.56) cuja massa volúmica é de 9.73 kg/m^3 a 0 °C e 100 kPa.

As *partículas alfa* (carga positiva) provocam danos no sistema respiratório quando o ar é inalado, mas não penetram à superfície da pele. As *partículas beta* (carga negativa) penetram à superfície da pele e geram danos nas células e órgãos do corpo. A *radiação gama* (electromagnética) produz profunda penetração, mediante o processo de ionização.

Tabela 3.56 – Ciclo de desintegração radioactiva do gás radon Rn (baseado em Rose, H.J.M., 1982)

Elemento	Rn222	Po218	Pb214	Bi214	Po214	Pb210	Bi210	Po210	Pb206
Filha		RaA	RaB	RaC	RaC'	RaD	RaE	RaF	
Tempo (minutos)	3.82 dias	3.05 min	26.8 min	19.9 min.	164 μ s	22.26 anos	5.03 dias	138.4 dias	Estável
Emite		Alfa	Beta e Gama	Beta e Gama	Alfa				

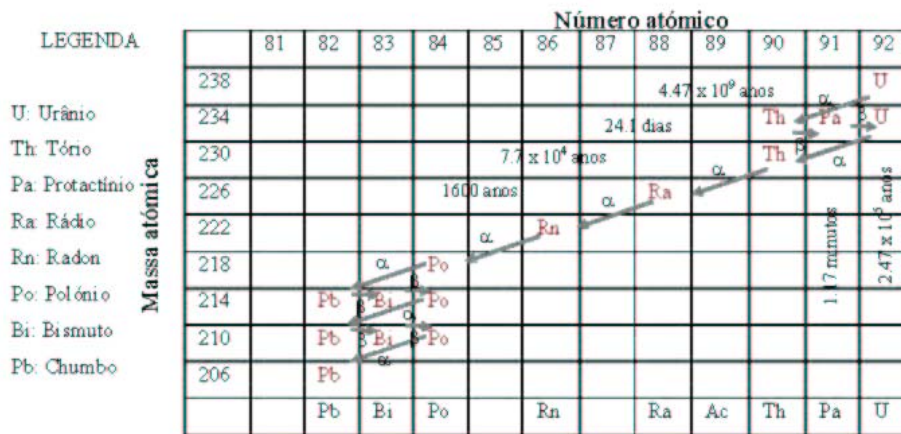


Figura 3.49 – Série de desintegração radioactiva do urânio

3.5.3. Caracterização ambiental da iluminação e radiação

3.5.3.1. Iluminação

As formas de iluminação no ambiente subterrâneo são duas: iluminação fixa e móvel.

A *iluminação fixa* realiza-se nas câmaras de equipamentos ou máquinas, em oficinas de manutenção e reparações, estações de bombagem, estações de guinchos de extracção, estações de transporte do pessoal, estações de carga e descarga de minério e estéril, pontos importantes de transferência de minério, locais principais de transporte, estação de ventiladores, estação de britagem primário, etc.

A *iluminação móvel* é utilizada em frentes de trabalho, como no caso da escavação de poços, chaminés, rampas, galerias, desmontes, túneis, etc.

No caso da iluminação móvel, precisa-se tomar a devida precaução sobre os possíveis danos que os disparos com explosivo podem provocar aos reflectores que trabalham com 110 ou 220 V, e geralmente são colocados à distância de 20 a 40 m.

Os equipamentos de uso subterrâneo possuem lâmpadas alimentadas a 6, 12, 24 ou 36 V e até potência de 500 W.

É recomendável que o pessoal que ingressa ao ambiente subterrâneo deve estar munido com uma lâmpada abastecida por bateria ácida (Tabela 3.57) de 4 V.

Tabela 3.57 – Características de lâmpadas para iluminação pessoal (Austin, B.A., 1982)

Fonte de luz (A)	Tempo de autonomia (h)	Tempo de carga (h)
0.67	13.0	11.0
0.70	13.0	11.0
0.80	12.3	11.7
1.00	12.5	12.5

A velocidade da luz V_l (3×10^8 m/s) está relacionada com a frequência f (Hz) e comprimento da onda C_o (m) que é expressa mediante a equação (3.77).

$$V_l = fC_o \quad (3.77)$$

A iluminação E (lm/m^2 ou lux) é determinada pela equação (3.78), baseada na intensidade luminosa da fonte I (candela ou cd) e distância entre a fonte luminosa e a superfície iluminada d (m).

$$E = \left(\frac{I}{d^2} \right) \quad (3.78)$$

A luminosidade L (cd/m^2) determina-se pela equação (3.79) que é função da iluminação E e a *reflectância* ϕ adimensional (Tabela 3.58).

$$L = \frac{E\phi}{\pi} \quad (3.79)$$

Tabela 3.58 – Valores da *reflectância* ϕ de alguns minerais e rochas (baseado em Trotter, D.A., 1977)

Mineral/rocha	ϕ	Mineral/rocha	ϕ
Esfalerite	0.05 – 0.22	Gesso	0.45 – 0.68
Talco cinzento	0.25 – 0.42	Carvão	0.02 – 0.20
Magnesite	0.85 – 0.95	Xisto com clorite	0.05 – 0.42
Pirrotite oxidada	0.10 – 0.30	Xisto com biotite	0.10 – 0.45
Pirrotite fresca	0.10 – 0.75	Calcário	0.35 – 0.55
Calcopirite fresca	0.32 – 0.70	Argila xistosa	0.25 – 0.45
Calcopirite oxidada	0.10 – 0.27	Ardósia	0.28 – 0.45
Pirite	0.20 – 0.35	Quartzo cinzento	0.35 – 0.50

O esquema da fig. 3.50 mostra a forma como são emitidos os raios de luz na iluminação da abertura subterrânea. As expressões matemáticas apresentadas nas equações (3.80) a (3.85) servem para determinar os parâmetros da iluminação.

$$E_o = \left(\frac{I_o}{h^2} \right) \quad (3.80)$$

$$E_1(\text{max}) = \left(\frac{I_o}{l_1^2} \right) \quad (3.81)$$

$$E_\theta(\text{planar}) = E_1(\text{max})\text{Cos}\theta \quad (3.82)$$

$$l_1 = \frac{h}{\text{Cos}\theta} \quad (3.83)$$

$$E_\theta = \frac{I_o}{l_1^2} \text{Cos}\theta \quad (3.84)$$

$$E_{\theta} = E_o \text{Cos}^3 \theta \quad (3.85)$$

Nestas expressões: I_o é a intensidade da fonte (cd), l_1 é a distância da fonte ao ponto 1 (m), E_1 (máx) é a máxima iluminação no ponto 1 (lm/m^2), E_{θ} (planar) é a iluminação no plano horizontal ao ponto 1 (lm/m^2) e θ é o ângulo entre o lado vertical da secção da abertura e a linha da luz da fonte ao ponto 1 ($^{\circ}$).

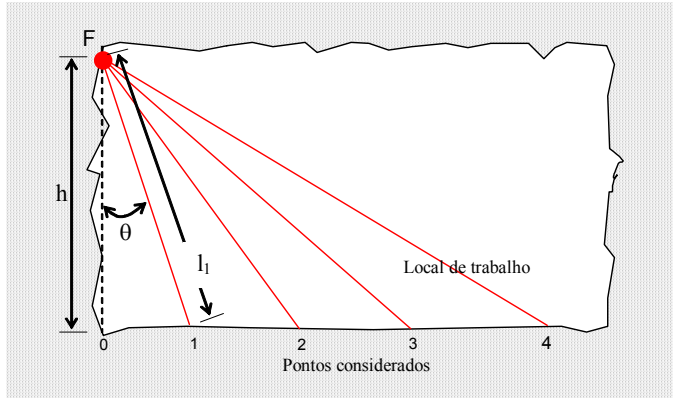


Figura 3.50 – Esquema de uma abertura subterrânea com uma fonte de iluminação F

A luminosidade na abertura subterrânea (fig. 3.50), mediante procedimento similar ao anterior, calcula-se mediante a equação (3.86).

$$L_{\theta} = \frac{I_o \text{Cos}^3 \theta \rho}{\pi h^2 (1 - \varphi)} \quad (3.86)$$

3.5.3.2. Radiação

O urânio é usado como energia para reactores nucleares e principalmente para a geração da energia eléctrica. Comparativamente, a energia gerada por um 1 kg de urânio equivale à gerada por 3000 t de carvão.

No processo da sua exploração mediante métodos subterrâneos o homem expõe-se à radiação, sendo a desintegração do radon o principal poluente perigoso para o homem.

A emanação de radon E_m (pCi/s), ou seja em pico Curie por segundo, determina-se mediante a equação (3.87) em função da superfície exposta S_e (m^2) que é calculada pela equação (3.88) baseada na fig. 3.50 e a taxa de emanação R_e (pCi/ m^2s) que em muitos casos é próximo a 500 pCi/ m^2s .

$$E_m = S_e R_e \quad (3.87)$$

$$S_e = b(3a + c) \quad (3.88)$$

Em ambiente subterrâneo com presença de urânio, quando diminui a velocidade do ar aumenta o tempo de permanência acrescentando a concentração dos elementos radioactivos perigosos (Rn), portanto, é imprescindível manter o ambiente com caudal adequado de ar.

O tempo de permanência T_p (s) é possível determinar com a equação (3.89) baseada no volume da área de trabalho V (m³) e a emissão do radon (E_m). O valor 1.85 é uma constante característica do radon e radon filhos.

$$T_p = \left(\frac{86.4 \times 10^6 V}{E_m} \right)^{\frac{1}{1.85}} \quad (3.89)$$

O tempo de permanência T_p é o máximo tempo em que a concentração do gás radon (desintegração) não será excedida a 0.33 WL (*Working Level*) num trecho determinado da abertura subterrânea (fig. 3.51 esquerda do ponto A ao ponto B).

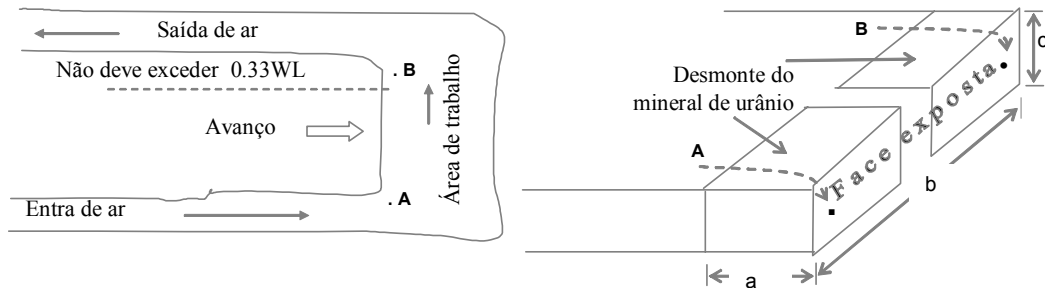


Figura 3.51 – Sentido do escoamento de ar e face exposta do mineral de urânio

WL indica o nível de exposição do homem à radiação e é definido como qualquer combinação que ocorre no curto tempo de vida dos produtos radioactivos (Rn) num volume de 1 litro de ar, onde a energia para a desintegração das partículas alfa até a condição estável é de 1.3×10^5 MeV (Mega electrão volts).

O caudal mínimo de ar Q_{min} (m³/s) para manter o ambiente com concentração inferior a 0.33 WL calcula-se mediante a equação (3.90) expressa em função do volume de mineral de urânio desmontado V_d (m³) e o tempo de permanência T_p (s).

$$Q_{min} = \frac{V_d}{T_p} \quad (3.90)$$

O nível de exposição do homem ao ambiente com presença de elementos radioactivos (Rn) é avaliado mediante a exposição mensal WLM (*Working Level Month*) e anual WLM_a (WLM/ano) e determina-se mediante a equação (3.91) ou (3.92) em que estão expressas em função do tempo de exposição do trabalhador: semanas por ano S_a (semanas/ano); horas por mês t_m (h/mês); horas por semana t_s (h/semana), WL médio

WL_m (mínimo aceitável 0.33 WL) e do tempo máximo de exposição permissível por mês t_{pm} (h/mês).

$$WLM_a = \frac{S_a t_s WL_m}{t_{pm}} \quad (3.91)$$

$$WLM_a = \frac{t_m WL_m}{t_{pm}} \quad (3.92)$$

Em circuitos de ar das frentes de trabalho subterrâneo depois da mistura de ar de diversos locais o WL_f (*Working Level* final) é possível calcular mediante a equação (3.93).

$$WL_f = \frac{(Q_1 WL_1) + (Q_2 WL_2) + \dots etc.}{Q_f} \quad (3.93)$$

Em que: Q_1 é o caudal de no ramal 1, WL_1 é o Working Level no ramal 1, Q_2 é o caudal de ar no ramal 2, WL_2 é o Working Level no ramal 2, Q_f é caudal total depois da mistura.

3.5.4. Normas e padrões de iluminação e radiação

3.5.4.1. Normas e padrões de iluminação

A iluminação típica medida em mais de 19 minas de África do Sul (Austin, B.A., 1982) indica os resultados seguintes: subestação eléctrica 82 lux; correia transportadora 64 lux; estação de bombagem 56 lux; estação de poços 48 lux; oficina de manutenção e reparações 44 lux; estação de guinchos 27 lux; transporte 8 lux; e desmontes 3 lux.

O padrão de iluminação varia de um país a outro (Tabela 3.59) entre 15 a 70 lux para fundo de poço, entre 20 a 80 lux estação de máquinas, bombagem, etc., entre 2 a 20 lux em áreas de transporte, entre 4 e 40 lux para pontos de descarga, entre 70 e 270 lux para escritórios mina e entre 20 a 270 para áreas de reparações e manutenção.

Em Portugal os Artigos 83.º e 84.º do Capítulo XI do Decreto-lei n.º 162/90 de 22 de Maio consideram que devem estar adequadamente iluminados, de preferência com energia eléctrica, os seguintes locais: vias de grande movimento, garagens e estações de carga de baterias ou de abastecimento de combustível, receitas de poços, locais de formação de composições, entroncamentos principais, refeitórios e instalações sanitárias e locais com instalações fixas.

Em relação à iluminação individual a norma indica que o pessoal deve utilizar de preferência lâmpadas eléctricas de capacete e estar permanentemente munidos com este equipamento, com carga para período normal de trabalho.

Tabela 3.59 – Padrões de iluminação mínima (iluminação) no ambiente subterrâneo expresso em lux (lm/m²) (Vutukuri, V.S. et al., 1986)

Pais	Fundo do poço	Estação de máquinas bombas, etc.	Áreas de transporte	Pontos de descarga de material	Escritórios em mina	Áreas de reparação e manutenção
Austrália	20	20		20	100	
Bélgica	20	25	10	20	270	270
Canadá	50	50	20			
Checoslováquia	15	20	5	20		
Alemanha	30	80	15	4		
Hungria	60	20	2	40		20
Polónia	50	50	2	15		50/100
UK	70	30		30	60	50/150
Superfície	100	100	100	100	400	400

Em Peru os Artigos 281.º a 285.º do *Reglamento de Seguridad e Higiene Minera (D.S. N° 023-92-EM do 13710/92)*, consideram que deve ser iluminado adequadamente os seguintes locais: estações de transporte vertical e horizontal, estação de bombagem, sala de guinchos de extracção, torvas, paíóis, oficinas, cruzamentos principais de galerias e outras instalações de carácter permanente ou que sejam causa potencial de acidentes.

A iluminação individual na norma peruana indica que é obrigatório dotar de iluminação adequada os trabalhadores, devendo estar em perfeito estado de funcionamento e protecção, mantendo em reserva uma quantidade não inferior ao 10% das lâmpadas em serviço.

3.5.4.2. Normas e padrões de radiação

Na maioria dos países produtores do óxido de urânio a concentração máxima anual permissível é de 4 WLM e a máxima permissível por trimestre de 2 WLM.

A WNA (*World Nuclear Association*) mediante a *Occupational Safety in Uranium Mining* considera um limite de exposição ocupacional de 20 mSv/ano calculado sobre cinco anos consecutivos. Os limites da exposição para membros do público das actividades de radiação relacionadas fixam-se em 1 mSv/ano, que é menos do que o fundo(ou “background”) médio da radiação no ambiente (www.world-nuclear.org/index.htm).

Segundo o ICRP (*International Committee on Radiological Protection*) o padrão recomendado para o público é de 1mSv (100 milirems) de exposição máxima anual (www.anawa.org.au/health/standards.html).

A MSHA de E.U.A. (www.msha.gov/) define que as pessoas não serão expostas ao ar que contem concentrações das filhas do radon que excedem 1.0 WL (*Working Level*, 1 WL = 200 pCi/l no ar, pCi/l = picocuries/litro) em funcionamento activo e de 10 WL (10 mrem/ano) de gás Rn.

Na Austrália (www.antenna.nl/wise/uranium/ruxfw.html#std) o padrão aplicável da dose da radiação para trabalhadores é 20 mSv/ano (calculados a média sobre 5 anos), e o risco fatal do câncer é 0.04 por Sv, de acordo com [ICRP60] Austrália.

A EPA do E.U.A. (www.epa.gov/radiation/yucca/regs.htm) considera que as emissões de radon-222 ao ar ambiental da mina subterrânea de urânio não excederão aquelas quantidades que fariam com que todo o membro do público recebesse em qualquer ano um equivalente da dose eficaz de 10 mrem/ano.

Na prática a poeira é a fonte principal da exposição de radiação na mina de urânio. O valor típico de exposição é de aproximadamente 2 mSv/ano para um ou dois trabalhadores. Realmente, os níveis de radiação do minério e dos rejeitados são geralmente baixos pelo que seria difícil que um trabalhador tenha uma dose próxima da anual permissível. Numa mina subterrânea um sistema de boa ventilação pode diluir a radiação até uma média inferior a 1 mSv/ano.

Os padrões estabelecidos no Canadá consideram um padrão de 3 mSv/ano para trabalhadores em minas de óxido de urânio.

3.5.5. Matiz base para a avaliação ambiental devido à iluminação e radiação

Para a identificação do nível de impacte ambiental devido à iluminação e à radiação no ambiente subterrâneo propõe-se a utilização da matriz apresentada na Tabela 3.60, onde I_s é a iluminação medida no ambiente subterrâneo (lux), I_{mp} é a iluminação mínima admissível pela norma ou padrão (lux), R_s é a radiação identificada no ambiente de trabalho subterrâneo (WLW, WL ou mSv/ano) e R_{mp} corresponde à exposição máxima de radiação definida pelas normas ou padrões (WLW, WL ou mSv/ano).

Tabela 3.60 – Matriz base para a identificação do nível de impacte ambiental devido à iluminação e radiação

Nível de impacte	Iluminação	Radiação
Leve	$I_{mp} > I_s \geq 0.9 I_{mp}$	$R_{mp} < R_s \leq 1.1 R_{mp}$
Moderado	$0.9 I_{mp} > I_s \geq 0.8 I_{mp}$	$1.1 R_{mp} < R_s \leq 1.2 R_{mp}$
Alto	$0.8 I_{mp} > I_s$	$1.2 R_{mp} < R_s$

3.5.6. Medidas correctivas

3.5.6.1. Para a iluminação

No caso da iluminação fixa, a medida correctiva consiste em colocar as lâmpadas com a potência ou intensidade adequada (admissível) para cada local destinado a um fim específico (estação de bombas, desmonte, oficinas, gabinete, ponto de descarga de minério, etc.) e em distâncias ou trechos que permitam conservar a iluminação mínima admissível no local determinado.

Para determinar a quantidade de lâmpadas Q_l a instalar numa abertura subterrânea pode ser usada a equação (3.94) em função da luminância E (lux), secção a iluminar S (m^2), factor de depreciação δ (1.2), coeficiente de utilização μ e fluxo luminoso da lâmpada φ (lúmen).

$$Q_1 = \frac{ES\delta}{\phi\mu} \quad (3.94)$$

3.5.6.2. Para a radiação

Como medida de precaução o pessoal exposto à radiação deve utilizar máscaras de protecção equipadas com filtro especial, que existe no mercado.

Uma medida correctiva para a atenuação do impacte ambiental pela radiação é mediante a ventilação aplicando um caudal adequado de ar Q_2 (m^3/s) que pode ser calculado pela equação (3.95).

$$Q_2 = Q_1 \frac{Rn_1}{Rn_2} \quad (3.95)$$

em que: Q_1 é o caudal de ar existente (m^3/s), Rn_1 é a concentração de radon existente e Rn_2 é a concentração mínima de Radon que precisamos obter (padrão).

De forma similar, para diluir os elementos produto da desintegração de radon (radon filho) mediante sistema de ventilação é necessário fornecer um caudal de ar Q_2 (m^3/s) que se pode calcular pela equação (3.96).

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{WL_1}{WL_2} \right)^{\frac{1}{1.85}} \quad (3.96)$$

em que: WL_1 é a condição de concentração existente de radiação ($WL = Working Level$) e WL_2 é a concentração mínima que desejamos obter nesse ambiente (padrão).

Como exemplo ilustra-se na fig. 3.52 um circuito de ar em paralelo e em série onde se pretende controlar a radiação no ramal 1 e 2.

Aplicando a equação (3.96) o WL no ramal 1 atinge 10.62 e no ramal 2 o WL é de 0.05. O resultado da mistura de ar na junção de estes caudais de ar aplicando a equação (2.93) o WL resultante é de 1.11 que excede ao WL mínimo permissível que é de 0.33. Portanto, para obter a concentração máxima admissível é necessário recalculer o caudal de ar utilizando a equação (2.95) resultando finalmente $67.27 m^3/s$.

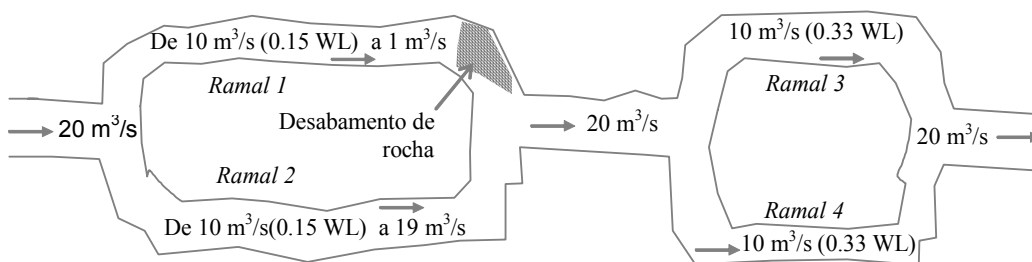


Figura 3.52 – Esquema de controle de radiação mediante o caudal de ar

3.5.7. Monitorização e controle

3.5.7.1. Monitorização e controle da iluminação

Para a medição da iluminação e da luminosidade nas aberturas subterrâneas precisa-se de sensores de luz (fotómetros). Estes fotómetros produzem uma curva de sensibilidade espectral similar ao olho do homem.

Os sensores de luz baseiam-se no princípio de conversão da energia de luz em energia eléctrica, o qual permite medir a iluminação e a luminosidade de luz.

Entre os fotómetros mais usados citam-se os de célula de selénio fotovoltaica (*Evans Electroelenium Ltd of England*), de fotodíodos de sílica com amplificação (*Tectronix Inc. of E.U.A.*).

Na monitorização ou medição da iluminação usam-se as técnicas seguintes:

Medição planar, que consiste na determinação duma malha (1m) e medir na intersecção das linhas da malha;

Medição do valor máximo que consiste na medição pontual da luz.

Os resultados das medições possibilitam definir os contornos denominados isolux, determinar o fluxo total da luz, dimensionar uma lâmpada adequada e calcular a eficiência do sistema.

O processo de medição da luminosidade, consiste em orientar o instrumento em direcção da superfície previamente dividida em grelhas com intervalos de 0.6 m. A superfície coberta em cada medição não deve ser superior a 325 cm² (MSHA E.U.A.).

3.5.7.2. Monitorização e controle da radiação

A concentração de radiação na atmosfera subterrânea mede-se mediante uma amostra com determinado volume de ar, que passa através dum filtro de membrana ou fibra óptica, de modo que, contando a alfa actividade depois da amostragem, se determina o WL.

Outro método é o *Kusnetz*, que consiste na passagem duma amostra de ar (100 a 200 litros) através de um filtro, accionando uma bomba e depois de 40 a 90 minutos realiza-se a contagem das partículas alfa. Este método tem um erro próximo a $\pm 25\%$.

Os instrumentos digitais são os que oferecem maior precisão na monitorização da radiação, e são os denominados dosímetros, que no mercado existem em três tipos:

1. *Dosímetro termoluminescence*, que colecta os gases *radon filhos* num filtro de papel, registando-se a radioactividade de alfa partículas em material luminescente;
2. *Dosímetro de filme*, que mede a radiação directamente no ar da atmosfera subterrânea, cujo princípio é a reacção química provocada pela sensibilidade do filme à energia da radiação e não precisa de bomba;
3. *Dosímetros electrónicos*, que colectam os gases de *radon filhos* num filtro de papel através duma bomba e a desintegração das partículas alfa é registada electronicamente proporcionando uma leitura directa.

A monitorização e controle permite comprovar a efectividade da medida correctiva e em caso necessário realizar medidas de reajuste correspondentes.

A gestão da iluminação e radiação no ambiente subterrâneo consiste num processo sistemático e sequencial (fig. 3.53) das acções que permitam obter uma qualidade ambiental consoantes aos padrões existentes.

As acções compreendem desde a caracterização das fontes de emissão da iluminação e radiação, das dimensões geométricas e condições físicas da abertura subterrânea; identificação dos locais com impacte ambiental negativo devido a iluminação e radiação (níveis de impacte); estudo das alternativas de prevenção e de medidas correctivas, aplicação das medidas de prevenção e correcção e finalmente realizar uma monitorização e controle detalhada e fiável para verificar a efectiva acção de atenuação ou mitigação da medida adoptada, de modo que reduzam-se os riscos ambientais produto de iluminação e radiação, consoante à qualidade ambiental admissível.

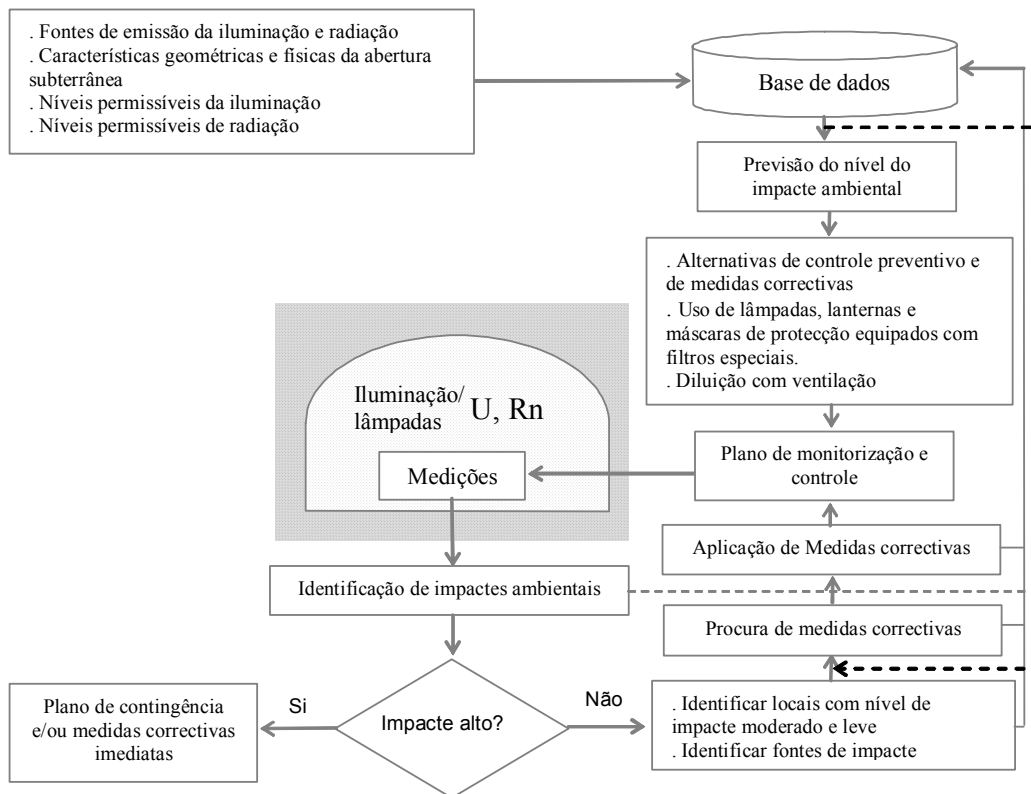


Figura 3.53 – Sistema de gestão da iluminação e radiação no ambiente subterrâneo

3.6. Explosão e Incêndio

3.6.1. Efeitos ambientais da explosão e incêndio

A explosão é relacionada com a presença de gases e poeiras explosivos no ambiente subterrâneo que, em contacto com o oxigénio do ar e uma fonte de ignição, geram ondas de choque primárias, como resultado da explosão, sendo acompanhadas pelas ondas inversas (fig. 3.54) ocasionadas pela rápida diminuição da pressão no local. As ondas inversas possuem uma energia algo menor mas podem ter efeito significativo e às vezes até maior que as primárias.

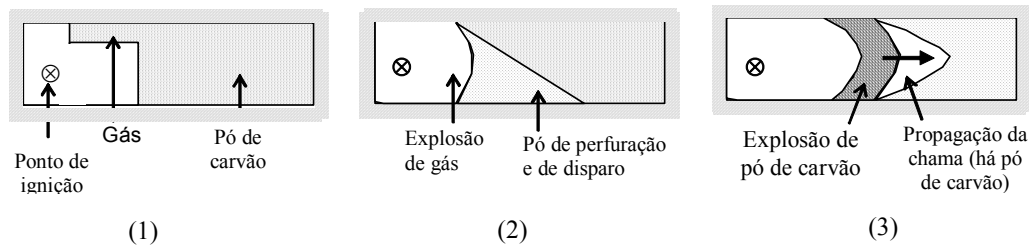


Figura 3.54 – Processo de desenvolvimento da explosão (baseado Vutukuri, V.S., et al., 1986)

Substâncias não combustíveis ou não inflamáveis em estado natural como o alumínio, o ferro, o enxofre e o carbono, podem-se converter em explosivos quando estão no estado de pó.

Os incêndios estão relacionados a presença de materiais combustíveis (gases, líquidos ou sólidos) que pela acção duma fonte de calor ou ignição inflamam-se, gerando fogo a grandes temperaturas e emanando fumos e gases tóxicos (CO) (fig. 3.55).

As explosões e incêndios nas aberturas ou minas subterrâneas, geram efeitos e consequências desastrosas nas operações e na saúde e na vida do homem, que se manifestam no aspecto dinâmico, térmico e intoxicação por gás de monóxido de carbono (Tabela 3.61).



Figura 3.55 – Fogo e emanção de fumos e gases pelo incêndio em ambiente subterrâneo

As explosões e incêndios no ambiente subterrâneo estão relacionados fundamentalmente com a existência de gases e poeiras explosivas que, pela presença do oxigénio (ar) e a certas concentrações, tornam-se altamente explosivos e inflamáveis em certas concentrações.

Tabela 3.61 – Efeitos e consequências das explosões e incêndios no ambiente subterrâneo

Causas	Efeitos e consequências ambientais
Dinâmico	Destruição do suporte de madeira e portas de ventilação, torção de carril, dano dos equipamentos e queda de rochas.
Térmico	Inflamação do suporte de madeira, correias transportadoras, portas de ventilação. Alterações na ventilação. <i>Queimaduras graves e mortais.</i>
Intoxicação pelo CO	<i>Morte</i> de pessoas que estão na proximidade da explosão e incêndio.

Os efeitos e consequências fatais para a saúde do homem provocados por explosões e incêndios estão relacionados com queimaduras e intoxicação pelo CO (Tabela 2.62). Destes dois factores, na maioria das vezes a morte é provocada pela intoxicação (60 a 70% de vítimas).

Ao longo da história, ocorreram muitas perdas de vidas humanas em consequência das explosões e incêndios. Pozdnyakov, G.A. e Romachenco, S.B., (2001), baseados em *Professional Mine Rescue Unit of the Russian Federation*, referem que na Rússia de 1984 a 1998 e entre todos os acidentes registados, os provocados por explosões representam de 5% a 7% (Tabela 3.62). Por exemplo, em 1997 ocorreram 12 acidentes de explosão de pó de carvão matando 105 mineiros.

Tabela 3.62 – Acidentes por explosão de pó de carvão na Rússia de 1994 a 1998 (Pozdnyakov, G.A; Romachenco, S.B., 2001)

Ano	Total de acidentes	Acidentes por explosão de pó de carvão
1994	220	11
1995	219	11
1996	199	8
1997	174	12
1998	157	7

Nos E.U.A. os acidentes fatais em minas subterrâneas por causa de explosões e incêndios atingem 2.13% do total dos acidentes fatais registados entre 1994 e 2000 (Tabela 3.63).

Tabela 3.63 – Acidentes fatais em minas subterrâneas e a céu aberto entre 1994 a 2000 (disponível em <http://www.msha.gov/stats/review/2001/charts/chart2.pdf>)

Ano	Subterrâneas	Céu aberto	Lavaria
1994	10	34	6
1995	8	41	4
1996	7	34	6
1997	10	42	9
1998	8	38	5
1999	13	35	7
2000	9	31	7

Drysdale, 1985 e Banerjee, S.C., 2000, revelam que no Reino Unido e nos E.U.A. mais de 60% dos acidentes fatais provocados por incêndios, ocorrem pela inalação de fumos e gases tóxicos e 40% por contacto directo com a chama.

A nível mundial, as zonas de frequentes acidentes fatais por explosões e incêndios acontecem na Índia (*Basides, Ranigani e Singareni*), nos E.U.A. (*Kentucky, Pennsylvania and West Virginia, Colorado*), na Europa e Rússia (Inglaterra, Alemanha, Nordeste de França, Polónia, República Checa, Ucrânia), em África (*África do Sul, Zimbabwe, Botswana, Moçambique and Zâmbia*), na Austrália (*New South Wales e Queensland*) e na China (*Kashi, Urumqi, Lanzhou, Xian, Bejin, Harbin*).

Registos de algumas catástrofes históricas de mortes das pessoas devido à explosão de pó de carvão mostram perdas de centenas e milhares de vidas humanas estão descritos na Tabela 3.64.

Tabela 3.64 – Catástrofes históricas por explosão de pó em minas

Ano	Lugar	País ou região	Quantidade
1906	<i>Courières</i>	França	1100
1942	<i>Honkeiko</i>	<i>Machuria</i>	1500
1946	<i>Monopolgrimberg</i>	Alemanha	400
1962	<i>Luisenthal</i>	<i>Saar</i>	299
1963	<i>Miike</i>	Japão	458
1972	<i>Wankie, Zimbabwe</i>	África do Sul	426

Os efeitos mortais no homem, pela acção das explosões e incêndios são causados geralmente pela emissão de gases explosivos e principalmente o metano (CH_4), pela concentração de pó de carvão (C) ou de pirite, estando o nível de toxicidade sempre relacionado com a geração do monóxido de carbono (CO).

Adicionalmente a tais efeitos, as explosões e os incêndios geram os gases $\text{CO}_2/\text{CO}/\text{CH}_4$, SO_2 , NO_x e partículas suspensas que afectam a qualidade do ar da atmosfera subterrânea e como consequência a vida dos homens expostos. Além destes efeitos, podem gerar poluição de águas e subsidência de maciços rochosos.

O metano em mistura com o ar na proporção de 5% a 15% torna-se altamente explosivo (Mcpherson, M.J., 2001) em outras proporções tem uma dificuldade de ignição e simplesmente provoca uma situação de desconforto no ambiente subterrâneo.

Os maiores problemas de explosões em minas subterrâneas de carvão estão relacionados com o pó de carvão, que com 20% a 30% de voláteis são altamente perigosos, podendo produzir efeitos dinâmicos e térmicos maiores que os de gás (metano).

3.6.2. Fontes da explosão e incêndios

Na atmosfera subterrânea, o pó e gases explosivos (metano, pó de carvão e pó metálico) constituem as principais fontes de explosão que, em contacto com o oxigénio e uma fonte de ignição provocam a explosão, podendo gerar consequentemente incêndios.

Notícias de incêndios em minas subterrâneas indicam que as principais causas de ignição são relacionadas com o uso de equipamentos eléctricos, à utilização de equipamentos de corte e soldadura com oxigénio e acetileno, aos explosivos, à fricção, à acumulação de lixo, ao gás metano e às correias transportadora (Tabela 3.65).

Tabela 3.65 – Fontes e causas da explosão o incêndio

Fontes que provocam a explosão e incêndios	Causas
Trabalho de equipamentos	Produção de faísca por fricção e impacte com rochas como quartzo, pirite, calcário, etc.
Desmante com explosivo	Defeito do explosor e má pratica do uso de explosivos e acessórios
Electricidade	Curto-circuito, defeitos do equipamento e ligações de fios eléctricos

Registos estatísticos dos E.U.A. (<http://www.msha.gov/>) entre os anos 1989 e 1998 (fig. 3.56) mostram que a maior fonte de ignição que ocasionaram explosões e incêndios nas minas subterrâneas de carvão é a electricidade.

Observa-se também, que 78% de incêndios tiveram como fonte factores externos e só 12% foi de combustão espontânea.

Na Rússia aproximadamente 55 a 60% dos incêndios nas minas de carvão são originados pelo auto inflamação e entre 40 a 45% devido a causas exteriores.

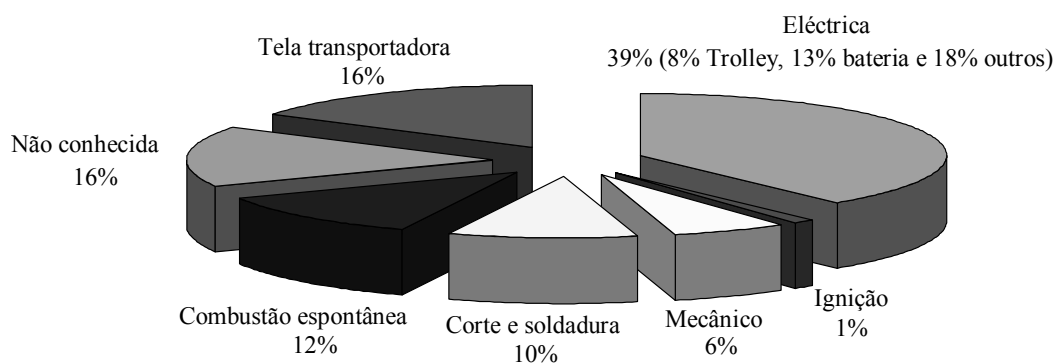


Figura 3.56 – Fontes ou factores que provocaram os incêndios em minas subterrâneas de carvão E.U.A.(disponível em <http://www.msha.gov/>).

3.6.3. Caracterização de explosões e incêndios

3.6.3.1. Explosões

Caracterização de poeiras explosivas: apenas o pó em forma isolada não explode sem presença um agente oxidante (oxigénio) e uma fonte de ignição.

Uma condição principal para a explosão da poeira é de que as partículas sejam de pequeno tamanho (superfície) e permitam um fácil acesso de uma suficiente quantidade de oxigênio para a combustão.

A explosividade de uma partícula é caracterizada pela pressão de explosão, pela sensibilidade à ignição e pelo coeficiente de explosividade.

O nível de violência da explosão depende da máxima pressão gerada em pouquíssimo tempo (40 ms). A explosão das poeiras produz pressões próximas de 1 MPa à razão de 100 MPa/s.

O coeficiente de explosividade (K_{ex}), pode-se determinar com a taxa máxima do acréscimo da pressão (P_m) e a taxa de aumento da pressão média (P_{mm}) para um tempo de um segundo e com a equação (3.97), determinados em ensaios em laboratório (Holding, W., 1994).

$$K_{ex} = (P_m P_{mm})^{0.5} \quad \text{bar/s} \quad (3.97)$$

Poeiras com $K_{ex} < 70$ são consideradas não explosivas, com valores de K_{ex} entre 70 e 95 apresentam risco de explosividade e com $K_{ex} > 95$ são explosivas, por conseguinte precisam de monitorização constante.

O pó de carvão explosivo tem um tamanho menor a 240 μm , que passa pela malha de 60 mesh. A mínima concentração de propagação do pó de carvão sem risco de explosão é de 50 g/m^3 e a máxima violência da explosão acontece com concentrações de 150 a 350 g/m^3 .

A velocidade de deflagração das ondas de choque atinge um valor de 1120 m/s a uma pressão de 1.36 MPa e a de detonação pode ser maior que 2000 m/s com pressões de 5 MPa.

A concentração de pó incombustível presente no pó de carvão (S) determina-se em função da sua explosividade, que é expressa pelo índice de explosividade (I_{ex}) e mediante a equação (3.98). Este índice é utilizado como guia para o cálculo de pó incombustível requerido.

$$I_{ex} = \frac{S}{100 - S} \quad (3.98)$$

Para o pó de carvão o coeficiente de explosividade é dado pela equação (3.99) em função da percentagem de material volátil (vm).

$$K_{ex} = 4.2vm + 3 \quad (3.99)$$

Caracterização de gases explosivos: Os gases explosivos presentes na atmosfera subterrânea de minas são principalmente o metano (CH_4), hidrogénio (H_2) e monóxido de carbono (CO). Destes gases o que gera frequentes catástrofes humanas é o metano presente no gás grisú sendo a presença do grisú praticamente sinónimo de metano.

Os gases são usualmente classificados em três categorias: ar, gases combustíveis (metano, hidrogénio, monóxido de carbono) e gases inertes (excesso de nitrogénio e excesso de bióxido de carbono).

A proporção destas categorias de gases presentes na atmosfera subterrânea determina o seu nível de explosividade caracterizada pelo triângulo de Coward (fig. 3.57).

No triângulo de Coward representado pela Figura 2.56, o ponto P tem 95% de ar e 5% de metano e constitui limite inferior de explosividade, no ponto Q existe 86% de ar e 14.5% de metano, sendo o limite superior de explosividade e no ponto R está presente 60% de ar e 6% de metano. Estes três pontos formam o triângulo PQR que representa gás explosivo resultante da mistura de ar com metano.

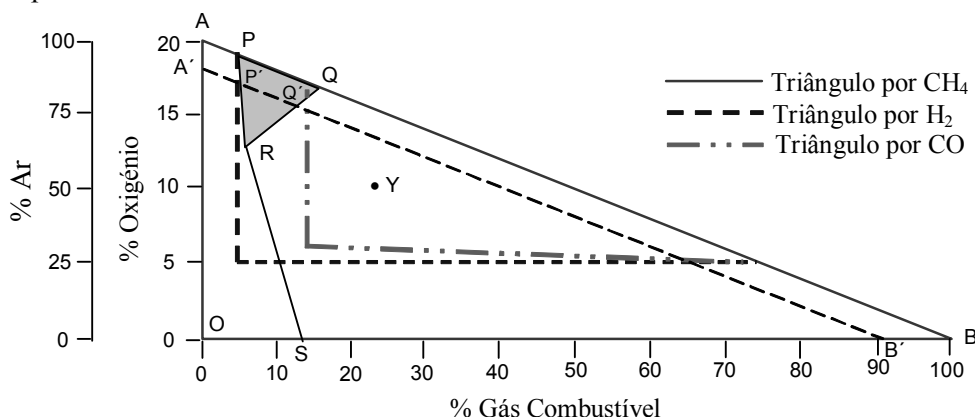
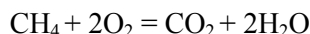
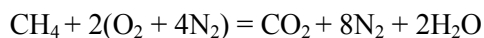


Figura 3.57 – Triângulo de Coward para metano, hidrogénio e monóxido de carbono

Em condições normais o metano é inerte, a característica principal é a sua inflamabilidade e explosividade quando misturado com o ar. Por combustão e explosão transforma-se em água e dióxido de carbono.



A combustão do metano acontece em misturas com conteúdo de 5 a 6% de CH_4 (limite inferior) a 14 a 16% (limite superior), e em termos gerais pode-se referir entre 5% a 15% (McPherson, M.J. 2001). Com concentrações menores que 5 a 6% o facto de retirar a fonte de inflamação paralisa a combustão, mas com concentrações maiores que 14 a 16% de CH_4 a combustão continua. O metano em mistura com o oxigénio do ar ao entrar em combustão e explosão gera a reacção química seguinte:



A explosão mais fraca ocorre com a mistura de 9.5% de metano, ou seja uma relação de 1:11 em volume (1 de CH_4 e 11 de ar, $2\text{O}_2 + 8\text{N}_2$). Com um conteúdo de CH_4 superior a 9.5% o oxigénio não é suficiente para queimar tudo o CH_4 e a reacção conduz à formação de CO e H_2 .



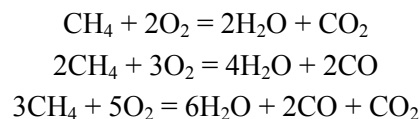
A temperatura de inflamação do metano comparado com outros gases inflamáveis é alta (700 °C) e o limite de inflamação varia entre 5 e 14.5 % (Tabela 3.66). A presença de gases combustíveis na mistura de ar e metano pode aumentar a explosibilidade.

Tabela 3.66 – Temperatura e limite de inflamação de alguns gases comparados com o metano

Gás	Temperatura de inflamação (°C)	Limite da inflamação (%)
Metano	700	5 – 14.5
Etano	548	3.2 – 15.0
Propano	514	2.4 – 7.4
Hidrogénio	585	4.1 – 74.0
Óxido de carbono	685	12.4 – 75.0

3.6.3.2. Incêndios

Nos incêndios ocorre um complexo processo de oxidação de gases do material sólido, oxidação com emissão de calor e luz e finalmente combustão e geração da chama, que para o metano se pode representar mediante as equações a seguir:



O impacte ambiental da atmosfera subterrânea por causa do incêndio está relacionado com o aspecto dinâmico, térmico e de intoxicação provocado pelo gás CO (fig. 3.58) que já foi detalhado na Tabela 3.61.

Os registos de incêndios em minas subterrâneas indicam que as causas principais são o uso de energia eléctrica, dos equipamentos de corte e soldadura (acetileno e oxigénio), dos explosivos, da fricção, da acumulação de lixo, do gás metano e da correia transportadora.

Equipamentos eléctricos: os cabos deteriorados podem provocar a formação do curto-circuito e como consequência o incêndio, podendo produzir combustão de madeira e outros materiais e adicionalmente gerar gases venenosos como o CO₂, como por exemplo, pela combustão da cobertura de PVC do cabo eléctrico.

Também, a operação do sistema de transporte por locomotivas a bateria ou com trolley, pode gerar incêndio.



Figura 3.58 – Gases e fumaça pela boca da mina e chaminé, e resultados dos danos provocados pelo incêndio em ambiente subterrâneo

Equipamentos de corte e soldadura: o metal quente e escórias produzidas no processo da operação de corte causam incêndios. Este aspecto é ainda mais perigoso quando a operação de corte é feita com material inflamável (acetileno e oxigênio) ou em áreas próximas de explosivos, estações de óleo diesel (combustível) e tintas.

Explosivos: o armazenamento de caixas de explosivo em ambientes onde se utiliza madeira para suporte constitui também fonte potencial para o incêndio. Certos acessórios de detonação, em contacto com a madeira podem provocar incêndio, como é o caso do cordão detonante, devido à sua temperatura de combustão ser suficientemente elevada.

Fricção: o atrito provocada no maciço rochoso ou fragmentos de rocha, resultado da operação dos arrastilhos, da movimentação de cabos metálicos (aço), da operação de corte, da perfuração ou remoção de equipamentos, podem ocasionar as explosões e incêndios, no caso de existir gases explosivos e inflamáveis ou material combustível (madeira, etc.).

O calor gerado pelo sistema de embraiagens ou travagens é suficiente para gerar a ignição do óleo e outros materiais (massa consistente). A fricção causada pelas telas transportadoras e seus sistemas de operação geram calor que pode ocasionar incêndios.

Acumulação de lixo combustível: alguma acumulação de resíduos combustíveis é fonte potencial de incêndios, que pode correr de forma espontânea.

Metano: a combustão ou explosão do metano é uma fonte potencial de incêndio principalmente em minas de carvão. Os incêndios causados pelo gás metano provocaram grandes catástrofes em muitas minas de carvão no mundo (Tabela 3.67).

As estatísticas de 22 anos mostram que a maior incidência de incêndios está relacionada devida à combustão espontânea, seguida pelo uso de equipamentos elétricos, gás inflamável e outras fontes, sendo portanto importante, a caracterização destes aspectos.

O metano (CH_4) é emanado durante a exploração de carvão, ficando retido sob a pressão na camada de carvão e da rocha encaixante. Este metano prendido é liberado no

processo de exploração quando o jazigo de carvão é fracturado. O metano libertado desta forma escapa do ambiente subterrâneo da mina e eventualmente à atmosfera.

A maior emissão global de metano (Tabela 3.68) ocorre aos países com grande produção de carvão como o caso de China, E.U.A. e Índia.

Tabela 3.67 – Incidências de incêndios por 10 Mt de produção de carvão em minas subterrâneas, com valores médios cada 3 anos (com base em Holding, W., 1994)

Período	Incidentes por cada 10 Mt (Mega toneladas)				
	Combustão espontânea	Electricidade	Gás inflamável	Outros	Total
1970 – 1972	0.74	0.25	0.19	0.13	1.32
1973 – 1975	1.04	0.17	0.12	0.23	1.56
1976 – 1978	0.62	0.38	0.09	0.14	1.23
1979 – 1981	0.59	0.39	0.27	0.04	1.29
1982 – 1984	0.26	0.67	0.22	0.10	1.25
1985 – 1987	0.20	0.61	0.58	0.41	1.60
1988 – 1990	0.39	0.48	0.38	0.33	1.58
1991 – 1992	0.20	0.86	0.40	0.46	1.92
Total	0.505	0.476	0.281	0.230	1.492
%	33.85	31.90	18.83	15.42	100

Tabela 3.68 – Estimação global da emissão de metano em minas de carvão (IPCC/OECD/IEA Programme on National Greenhouse Gas Inventories, E.U.A., 1996)

País	Produção do carvão (Mt)			Emissão de CH ₄ (t)	
	Subterrâneo	Superficial	Total	Menor	Maior
China	1024	43	1066	9.5	16.6
E.U.A.	385	548	934	3.6	5.7
Rússia	393	309	701	4.8	6.0
Alemanha	77	359	436	1.0	1.2
Índia	109	129	238	0.4	0.4
Polónia	154	58	212	0.6	1.5
Austrália	52	154	206	0.5	0.8
África do Sul	112	63	175	0.8	2.3
Checoslováquia	22	85	107	0.3	0.5
UK	75	14	89	0.6	0.9
Total	2042	1762	4164	22.1	35.9

A emissão de metano em minas subterrâneas G_g (m³/hora) pode ser calculada utilizando a equação (3.100) recomendada pela IPCC (*International Panel on Climate Change*, 1996), baseado no factor de emissão E_f (m³ CH₄/t) (Tabela 3.69) e quantidade de produção da mina P_m (t/hora).

$$CH_4 = E_f P_m \quad (3.100)$$

Tabela 3.69 – IPCC factor de emissão E_f ($m^3 CH_4/t$) para minas subterrâneas de carvão

Categoria	Baixa	Alta
Exploração	10	25
Pós-exploração	0.9	4

Em minas de carvão dos E.U.A., Austrália, Alemanha, Polónia e Checoslováquia, para estimar a emissão de metano ECH_4 (m^3/t) usam-se a equação empírica (3.101) obtida com um coeficiente de correlação de $r = 0.81$ que considera a profundidade média d (m) (Creedy, D.P. et al., 1996).

$$ECH_4 = 0.023d + 4.1 \quad (3.101)$$

A metodologia para a previsão dos incêndios em minas subterrâneas pode ser baseada nos indicadores seguintes: *Graham Index* (GI), *Willet's Index* (WI), *Trickett Index* (TI), *Morris Index* (MI) e *Young's Index* (YI), calculados mediante as equações (3.102) ao (3.107).

$$GI = \frac{100CO}{0.265N_2 - O_2} \% \quad (3.102)$$

$$WI = \frac{100CO_2}{(N_2 - 3.78O_2)(CH_4 + H_2 + CO) + CO_2} \% \quad (3.103)$$

$$TI = \frac{CO_2 + 0.75CO - 0.25H_2}{0.265N_2 - O_2} \% \quad \text{ou} \quad (3.104)$$

$$TI = \frac{CO_2 + 0.75CO - 0.25H_2 + 0.5C_2H_4 + 0.25C_2H_6}{0.265N_2 - O_2} \% \quad (3.105)$$

$$MI = \frac{N_2}{CO + CO_2} \% \quad (3.106)$$

$$YI = \frac{CO_2}{O_2 \text{deficiência}} \% \quad (3.107)$$

Os índices GI e TI são os mais usados cujos valores típicos estão indicados na Tabela 3.73.

A velocidade de combustão do carvão é possível de calcular mediante o índice CCR (*Coal Combustion Rate*) expressa nas equações (3.108) e (3.109) (Giardino, D.A., 1999).

$$CCR = 0.021 \left[\frac{M_{total}}{M_c} \right] \left[\frac{\%CO_2 + 1.3\%CO}{100 - \%CH_4} \right] \left[\frac{\left[\frac{H}{C} \right]_s - \left[\frac{H}{C} \right]_r}{\left[\frac{H}{C} \right]_f - \left[\frac{H}{C} \right]_r} \right] FR \quad (3.108)$$

Onde:

$$\left[\frac{H}{C} \right]_s = \frac{1.073\%N_2 - 4\%O_2 - 4\%CO_2 - 2\%CO + 2\%H_2 + 2\%C_2H_2 + 4\%C_2H_4}{\%CO_2 - \%CO + C_2H_2 + 2\%C_2H_4} \quad (3.109)$$

Nesta expressão, CCR é o índice de combustão de carvão (lb/minuto), FR é o escoamento de ar na zona do incêndio (cfm), M_{total}/M_c é a relação da massa total do carvão com a massa do carbono no carvão obtido da análise final (1.13 – 1.28), $(H/C)_s$ é a relação equivalente do hidrogénio como carbono resultante [calculado usando a equação 2.109], $(H/C)_f$ é a relação equivalente do hidrogénio com o carbono do carvão (0.50 – 0.68), $(H/C)_r$ é a relação equivalente do hidrogénio e carbono dos produtos de carbono/alcatrão (um valor 0.3 é usado no calculo), $\%CO_2$ é a percentagem de bióxido de carbono, $\%CO$ é a percentagem de monóxido de carbono, $\%N_2$ é a percentagem de nitrogénio, O_2 é a percentagem de oxigénio, H_2 é a percentagem de hidrogénio, CH_4 é a percentagem de metano, $\%C_2H_2$ é a percentagem de acetileno, C_2H_4 é a percentagem de etileno. Estas proporções e percentagens são *resultado da análise do gás*.

A aplicação destas equações para um incêndio na mina *de Pittsburgh Coal Seam* resultou em 277 lb/minuto, em quanto que uma mina de carvão de Illinois deu um resultado de 60 lb/min (Giardino, D.A, 1999).

3.6.4. Padrões e normas

A explosividade numa poeira é expressa em termos de mínima temperatura ou energia requerida para criar a ignição (Tabela 3.70).

Tabela 3.70 – Sensibilidade típica de ignição de poeiras (Holding, W., 1994)

Poeira	Temperatura mínima de ignição (°C)		Concentração mínima (g/m ³)	Energia mínima de ignição (mJ)	Máxima pressão de explosão (kPa)	Máxima razão de explosão (kPa/s)
	Nuvem	Camada				
Carvão, 12% voláteis						
Carvão, 25% voláteis	670	240	-	-	-	-
Carvão, 43% voláteis	605	210	120	120	422	2799
Flúor	575	180	50	50	626	13600
Zircónio	380	360	50	50	740	25200
	20	220	45	5	510	74800

Comparativamente, o gás de metano precisa uma energia mínima de ignição de 0.3 mJ e a mínima concentração explosiva é de 36 g/m³, enquanto o hidrogénio precisa duma energia mínima de ignição de 0.03 mJ e concentração mínima de 3.6 g/m³ (Holding, W., 1994).

O limite da inflamabilidade do metano, monóxido de carbono e hidrogénio (Tabela 3.71) é definido pelo triângulo de Coward (fig. 3.57).

Para outros gases que podem estar presentes misturados com o ar em minas subterrâneas, os limites inferiores e superior estão na Tabela 3.72 (Cook, A. P., *et al.*, 2000).

Outros índices que podem ser utilizados como padrão são os de Graham e Trickett (Tabela 3.73) e as relações CO/CH₄ ou CO₂/CH₄ que são indicadores úteis. Valores maiores que 2% indicam a possibilidade de início de incêndio e entre 1 e 2% a ocorrência de uma combustão espontânea (Holding, W., 1994).

Tabela 3.71 – Limites de inflamabilidade de gases e vapores em ar nas condições normais de temperatura e pressão (Triângulo de Coward and Bureau of Mines Diagram E.U.A., disponível em www.multimedia.vt.edu)

Gás	Limite de inflamabilidade (% volume)		Limite de mistura gás/oxigénio	
	Inferior	Superior	Gás	Oxigénio
Metano, CH ₄	5.0	14.0	5.9	12.2
Monóxido de carbono, CO	12.5	74.2	13.8	6.1
Hidrogénio, H ₂	4.0	74.2	4.3	5.1

Tabela 3.72 – Limites de explosividade de gases comuns em minas subterrâneas (Cook, A. P., *et al.*, 2000)

Gás	Símbolo	Limite inferior	Limite superior
Etano	C ₂ H ₆	3.0	12.4
Propano	C ₂ H ₈	2.1	9.5
Butano	C ₄ H ₁₀	1.8	8.4
Sulfureto de hidrogénio	H ₂ S	4.0	44.0

Tabela 3.73 – Valores típicos para os índices de Graham e Trickett (Holding, W., 1994)

Graham Index (GI)	Trickett Index (TI)	
	Incêndio	Explosão
≤ 0.4 Normal	<0.4 Processos de não combustão	0.50 Combustível de CH ₄ Combustível de pó de carvão 0.5 - 0.87 CH ₄ e pó de carvão
0.5 Anormal	0.4 – 0.54 Combustível só CH ₄	
0 Provável calor	0.55 – 0.8 CH ₄ e carvão	
1 Calor sério	0.8 – 1.0 Combustível só carvão	
2 Início de combustão	1.0- 1.6 Madeira	
	> 1.6 mistura impossível	

3.6.5. Matiz base para identificação do impacte ambiental devido a explosões e incêndios

Para identificar o nível de impacte ambiental devido à explosão e incêndio no ambiente subterrâneo e para o caso particular de minas de carvão, propõe-se a matriz apresentada na Tabela 3.74, elaborada com base nos padrões indicados nas Tabelas 3.65 a 3.68.

Tabela 3.74 – Matriz para a identificação do impacte ambiental de explosões e incêndios em minas de carvão, P a concentração de pó de carvão (g/m^3) e G a concentração de gases (%)

Nível de impacte	Pó de carvão		Gases		
	25% voláteis	43% voláteis	CH ₄	CO	H ₂
Leve	120<P≤125	50<P≤55	5<G≤6	12.5<G≤13.5	4<G≤5
			14≥G> 13	74.2≥G> 73.2	74.2≥G> 73.2
Moderado	125<P≤130	55<P≤60	6<G≤7	13.5<G≤14.5	5<G≤6
			13≥G> 12	73.2≥G> 72.2	73.2≥G> 72.2
Alto	P>130	P>60	7<G≤12	14.5<G≤72.2	6<G≤72.2
			12≥G> 7	72.2≥G> 14.5	72.2≥G> 6

Os valores de P e G deverão ser o resultado da amostragem e análise da concentração num ambiente subterrâneo determinado.

3.6.6. Medidas correctivas

3.6.6.1. Para explosões

Entre as técnicas utilizadas para controlar as explosões em minas subterrâneas estão as barreiras de pó inerte e as barreiras passivas.

A *barreira de pó inerte* é uma técnica muito utilizada para mitigar ou atenuar os problemas de explosão em minas de carvão. A técnica consiste em suspender no tecto das aberturas subterrâneas sacos de pó inerte (fig. 3.59), de maneira que com a acção da onda expansiva inicial de choque se consiga deteriorar os sacos de pó inerte ou então as chamas do incêndio provoquem a combustão destes sacos.

Uma vez de que o saco de pó inerte fica deteriorado, o conteúdo espalha-se e passa a integrar a concentração do ar da atmosfera subterrânea juntamente com o pó de carvão, diluindo a concentração deste e dessa forma evitando a continuidade das explosões a outras áreas e a conseqüente incêndio.

A distribuição das barreiras de pó inerte, pode ser dimensionada da forma definida por Du Plessis J.J.L. *et al.*, 1997. A quantidade de sacos de pó inerte para cada barreira Q_{sb} (sacos/barreira) calcula-se com a equação (3.110) com base na largura L (m) e a altura H (m) da abertura, distância de protecção D_p (100 m), massa volúmica do pó inerte ρ_{pi} ($1000 \text{ kg}/\text{m}^3$), peso de cada saco de pó inerte P_{pi} (6 kg/saco) e número de barreiras N_b .

$$Q_{sb} = \frac{LHD_p \rho_{pi}}{P_{pi} N_b} \quad (3.110)$$

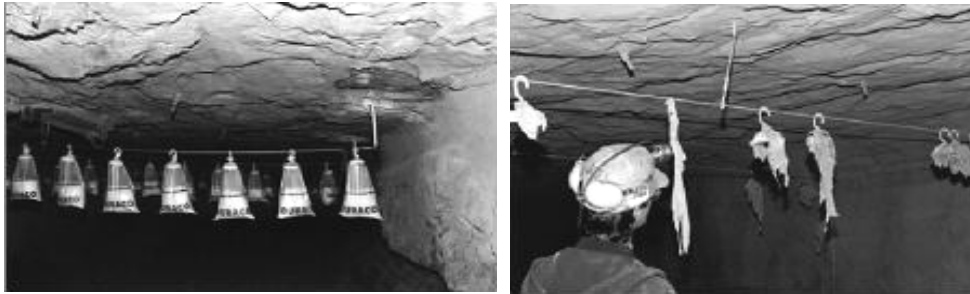


Figura 3.59 – Barreira de pó inerte no tecto da abertura subterrânea, antes e depois da explosão (Mina de carvão Bulli Colliery, Illawarra Region, Australia, 2002)

A distribuição dos sacos pode fazer-se com uma distância longitudinal e transversal de 2 m entre sacos pendurados (fig. 3.60).

A pressão dinâmica P_d (kPa) a que trabalha a barreira é determinada com o sensor Kistler 9203 ou similar (Du Plessis, J.J.L., *et al.*, 1997) e mediante a equação (3.111), em função da pressão total P_t (kPa) e pressão estática P_e (kPa).

$$P_d = P_t - P_e \quad (3.111)$$

A temperatura de explosão na posição da barreira T_e (°K) pode estimar-se utilizando a Lei de *Stefan-Boltzmann* (Du Plessis, J.J.L., *et al.*, 2000) expressa pela equação (3.112), em função do fluxo de calor Q_e (W/cm²) e a constante φ (5.67x10⁻¹² W/cm²K⁴).

$$Q_e = \varphi T_e^4 \quad (3.112)$$

Em alguns países também se utilizam barreiras de água, para explosões com velocidade dinâmica menor que 25 m/s.



Figura 3.60 – Distribuição dos sacos de pó inerte no ambiente subterrâneo (Mina de carvão Bulli Colliery, Illawarra Region, Australia, 2002)

As barreiras de pó inerte ou de água têm a desvantagem de depender da onda de choque para dispersar o pó inerte ou a água, pelo que as *barreiras provocadas* incorporam uma fonte de energia interna.

Um projecto típico de barreiras provocadas consiste num tanque de água conectado a um dispositivo concentrado na boca da abertura subterrânea e em zonas de comprimento curto. Um diafragma do sistema impede o fluxo da água do tanque para as suas bocas, em circunstâncias normais de operação. Um frasco de bióxido de nitrogénio comprimido ou de carbono é introduzido dentro do tanque de água.

Dentro do frasco de gás um calefactor faz que o gás se expanda e funcione o disco de rotura. Isto causa a pressurização muito rápida da água, a rotura do diafragma do sistema e entrega de água a alta pressão nas bocas. Perto de cem litros de água podem ser dispersos em menos de um segundo.

Alguns projectos utilizam um combustível pulverizado no lugar da água provido de um explosivo macio em vez do recipiente de gás.

A activação de uma barreira provocada é iniciada por um sinal eléctrico de um dispositivo detector situado mais perto da área de funcionamento, onde uma explosão é mais provável de começar.

Os sensores infravermelhos e ultravioletas da temperatura e da pressão são utilizados como dispositivos da detecção. Além da fonte de energia activa para dispersar o fogo, uma vantagem da barreira provocada é de que pode ser seleccionada uma distância adequada entre o sensor e a barreira. Isto assegura de que a barreira esteja activada no momento correcto quando a chama de aproxima.

3.6.6.2. Para incêndios

As medidas preventivas para os incêndios, constituem uma boa prática para evitar desastres de grandes dimensões em minas subterrâneas, mas quando é detectado um nível de impacte ou risco de incêndio as medidas de mitigação ou combate de incêndios podem ser realizadas mediante as técnicas seguintes:

a) Utilização de extintores químicos

Espumas, são uma emulsão dum produto espumoso em água, recomendável de aplicar a uma distância de 8 m e a uma pressão de 5 kg/cm². Basicamente apaga por sufocação, ao isolar o combustível do ambiente, exercendo também uma certa acção refrigerante devido à água que contém. Dependendo do seu uso, existem três tipos de extintores de espumas:

- Extintor portátil, utilizado para pequenos incêndios;
- Extintores com grande quantidade de espumas, aplicáveis a incêndios maiores;
- Espumas com partículas sólidas, utilizadas para a prevenir os incêndios.

Geralmente as espumas são fabricadas com base na reacção química seguinte:



Poeira química seca, é constituída por sais químicos de diferente composição, capazes de combinar-se com os produtos descompostos do combustível, paralisando a reacção em cadeia.

Podem ser de duas classes: *normal ou polivalente*.

As *poeiras químicas secas normais* são sais de sódio ou potássio, perfeitamente secos, combinado com outros compostos para dar fluidez e estabilidade. São apropriados para fogos de combustíveis líquidos e de gases.

As *poeiras químicas secas polivalentes* têm como base fosfatos de amónio, com aditivos similares aos anteriores. Além de serem apropriados para fogos de líquidos e de gases, são também para sólidos, já que cobrem as chamas com uma película que as sela, isolando-as do ar. Não são tóxicos nem conduzem electricidade a tensões normais, pelo que podem ser usados em fogos com presença de tensão eléctrica.

b) Aplicação da água

A água é o meio mais barato e mais efectivo na extinção de incêndios, pela sua acção refrigerante devido a seu alto calor latente (calor latente de vaporização de água = 539 cal/g) e de evaporação.

O calor requerido para evaporar um quilograma de água a 20 °C é de 619 Kcal.

A água deve ser aplicada a uma distância entre 3 m e 30 m com pressão que não seja superior a 10 kg/cm². É recomendável usar aditivos como NaHCO₃, KHCO₃, NaCl, Na₂CO₃, NH₄Cl, Na₂SiO₃, Na₂SO₄, MgSO₄, CaCl₂, K₂CO₃, (NH₄)₂HPO₄, etc.

c) Emulsões com água

São uma mistura de água com areia/cinza/lama/cimento e limo em proporção de 10:1, que actua como barreira incombustível ao ser aplicado no jazigo de carvão, utilizando furos ou fracturas existentes.

d) Ventilação

A ventilação estratégica cumpre um papel muito importante na protecção da vida do pessoal e controle dos incêndios em aberturas subterrâneas. As técnicas conhecidas são diversas como o sistema de entrada dupla de ar; a ventilação inversa e curto-circuito do incêndio. Um incêndio numa galeria principal da entrada é provavelmente a maior ameaça à vida, devido a que haverá um maior número de pessoas expostas ao fumo e ao fogo e, por conseguinte, um sistema com dupla entrada de ar, pode reduzir a perda de vidas.

A ventilação inversa reduz a exposição de pessoas ao fogo e gases no momento do incêndio, apesar de ser um pouco complicada a sua implementação prática.

Em algumas circunstâncias pode haver algum mérito no fecho de portas da passagem do ar (fogo) para reduzir a corrente do ar que alimenta o incêndio. A concentração dos gases do incêndio na galeria de retorno aumenta o curto-circuito, e que, dependendo da quantidade e do sentido de ar, poderia inverter-se o fluxo enfraquecido pelo curto-circuito.

Em minas mecanizadas de carvão exploradas pelo método de câmaras e pilares é importante a utilização de ventiladores de Jacto com manga suspensa no tecto das câmaras, e para geração de ar turbulento e uso de regulador da recirculação de ar e sistemas de controle com ventiladores instalados no CM (*continuous mining*).

Investigações realizadas sobre uso de ventiladores de jacto mostram que são eficazes. Estes ventiladores podem ser de dois tipos de escoamento do ar: o modelo em “U” e o modelo denominado *figura 8* (Meyer, C. F., *et al.*, 1999) (fig. 3.61).

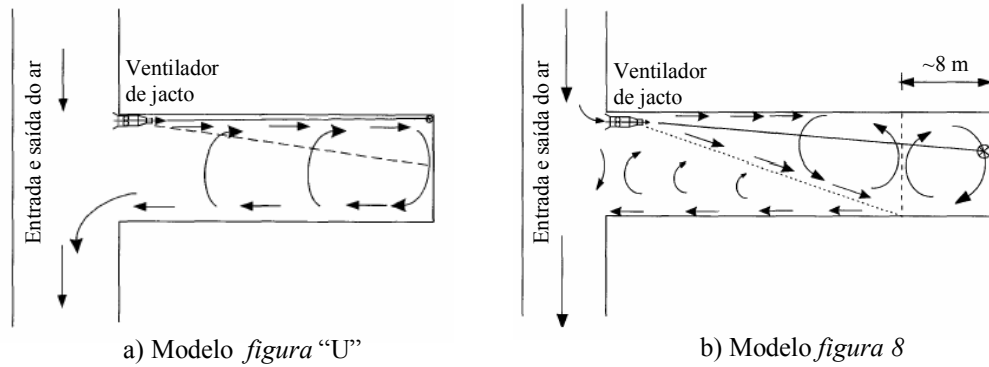


Figura 3.61 – Modelos de escoamento do ar usando ventiladores de Jacto (Meyer, C. F., *et al.*, 1999)

O sistema de controle mediante a recirculação do ar nas frentes de corte (desmonte) é baseado no caudal de ar e localização de ventiladores (fig. 3.62 esquerda), mas tem a desvantagem de seu alto custo. Para velocidade inferior de 0.40 m/s a poeira não aumenta com a velocidade do ar, mas quando a velocidade do ar excede a 4.0 m/s a poeira aumenta em proporção da velocidade.

O sistema de controle mediante ventiladores instalados no CM é denominado também sistema de *cabeça húmida* (fig.3.62 direita) que é utilizado na operação de corte deste equipamento.

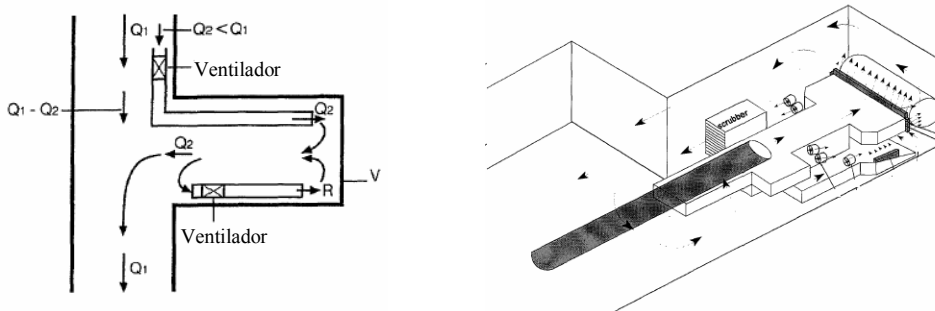


Figura 3.62 – Sistema de controle da recirculação do ar e com ventiladores instalados no CM (Meyer, C. F. *et al.*, 1999)

Mediante o sistema de ventilador a jacto é possível controlar câmaras (que constituem passagens de ar) com largura de 6 m a 10 m, e usando adicionalmente filtro (de

ar) até mais de 20 m. É recomendável usar um jacto de água instalado a 0.30 m com ângulo de 30° do local e entre 10° a 20° sobre o tambor de corte (Meyer, C. F., *et al.*, 1999).

Para a avaliação da eficácia do sistema utiliza-se o índice MSI (*Methane Safety Index*) que é determinado mediante a equação (3.113) com base no gradiente actual de metano (GAM) e ao gradiente teórica admissível deste gás (GTAM).

$$MSI = \frac{GAM}{GTAM} \quad (3.113)$$

O índice MSI é um indicador das condições de ventilação e níveis de risco ambiental nas frentes de corte (exploração) mediante equipamento mecanizado como CM, cujo domínio de valores estão na Tabela 3.75.

Tabela 3.75 – Situação da ventilação e nível de explosividade na atmosfera da zona de corte por MC em função índice MSI (Meyer, C. F., *et al.*, 1999)

Índice MSI	Situação ambiental
$MSI \leq 0$	A ventilação é boa na zona do avanço do MC
$0 < MSI \leq 1$	A ventilação ainda conserva o metano dentro de limites admissíveis
$1 < MSI \leq 3.5$	A ventilação não consegue diluir o metano a níveis permissíveis. O valor 3.5 indica o limite inferior de explosibilidade do metano (5%).
$MSI > 3.5$	A operação do corte do MC deve parar, porque a atmosfera é explosiva nesta zona específica.

e). Fecho de aberturas

A técnica de fecho de aberturas subterrâneas tem dois propósitos principais: evitar o ingresso de oxigénio à zona do incêndio e isolar a área para evitar a poluição de outras áreas com gases e fumos.

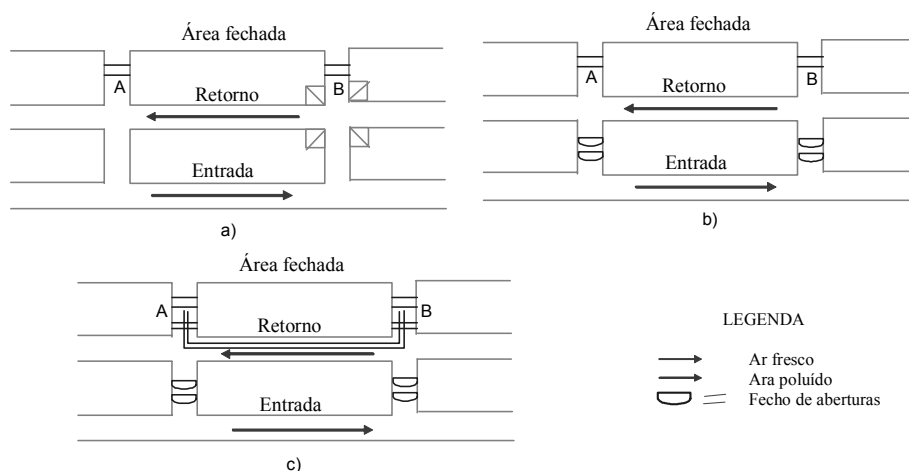


Figura 3.63 – Balanço de pressão mediante fecho de aberturas subterrâneas para mitigar o incêndio

Dois aspectos muito importantes são frequentemente usados no fecho de áreas de incêndio:

1. O escoamento do ar deve manter-se até o último momento possível, a fim de ter sob controle os gases inflamáveis. A flutuação do caudal e pressão nem sempre afecta a diluição mas pode causar acumulação de gases.
2. Todos os ambientes com presença de homens precisam fecho de forma simultânea. Se não for assim, o corte da ventilação pode provocar explosão nas áreas que ainda continuam o trabalho.

Quando uma área é fechada escoar pouco ar pela diferença de pressões entre ambientes vizinhos, este corrente de ar pode retardar a extinção do fogo e no caso de uma combustão espontânea pode continuar o processo de oxidação de forma indefinida. Os passos para um balanço de pressão ilustram-se na fig. 3.63.

No caso a) a diferença de pressão entre A e B é entrada-retorno. No caso b) a diferença de pressão é muito menor, mas a queda de pressão é aproximadamente ao longo do retorno de B a A. No caso c) a diferença de pressão é reduzida com o avanço de duas frentes e conexão das câmaras.

3.6.7. Monitorização e controle

A monitorização e controle das explosões e incêndios realizam-se geralmente utilizando sensores ou detectores de CO, CO₂, SO₂, O₂, temperatura ou mediante sensores múltiplos. Os equipamentos podem ser os mesmos indicados no item 3.2 (gases).

Na actualidade existem aparelhos que podem permitir detectar (monitorizar) com precisão estes indicadores de explosões e incêndios.

O gás CO é detectado mediante um sensor de célula electrónica. A temperatura é detectada mediante um sensor que tem uma resistência eléctrica e a massa volúmica dos fumos é detectado mediante um detector de sistema de ionização.

Estudos realizados em E.U.A. por Bureau of Mines (Conti, R. S., et al., 1995) permitiram determinar a equação (3.114) para determinar o caudal de ar Q_f (m³/s) que permita obter uma temperatura T_r próximo do tecto da abertura, a uma distância d da parte central da chama (m).

$$Q_f = \rho_o C_o v_o A_o \left[\frac{T_r - T_o}{9} \right] d^{1.75} \frac{H}{W} \quad (3.114)$$

em que, ρ_o é a massa volúmica do ar (1.2×10^3 g/m³), C_o é a capacidade calorífica do ar (1.088×10^{-3} kJ°C/g), A_o é secção da abertura (m²), v_o é a velocidade do ar (m/s), T_o é a temperatura inicial do ambiente (°C), H é a altura da abertura (m) e W a largura (m).

Para estimar a geração do gás CO (ppm), Conti, R. S., et al., (1995) recomendam utilizar a equação (3.115) em função da constante de produção do monóxido de carbono K_{CO} , o caudal de ar Q_f , a velocidade do ar v_o e secção da abertura subterrânea A_o .

$$ppmCO = \frac{K_{CO} Q_f}{V_o A_o} \quad (3.115)$$

A constante de geração do monóxido de carbono para o caso de incêndios nas correias transportadoras K_{CO} , está expresso pela equação (3.116) em função da velocidade do ar v_o .

$$K_{CO} = 4.8e^{-0175v_o} \quad (3.116)$$

Quando detectado algum incêndio ou explosão na atmosfera subterrânea deve ser comunicado imediatamente ao responsável da administração dos trabalhos subterrâneos, para tomar as medidas de evacuação do pessoal e medidas de controle urgentes.

No processo de evacuação de pessoal é importante considerar aspectos relacionados com os refúgios em áreas seguras e resgate.

O objectivo de prever e atenuar os graves efeitos das explosões e incêndios no ambiente subterrâneo precisa duma gestão sistemática, sequencial e coordenada (fig. 3.64), desde a caracterização das fontes produtoras de explosões e incêndios, identificação do nível de impacte ambiental, procura de medidas de prevenção e correctivas viáveis técnica e economicamente, aplicação da medida correctiva, e acompanhamento com monitorização e controle para avaliar o nível de efectividade da medida correctiva e quando seja necessário reajusar.

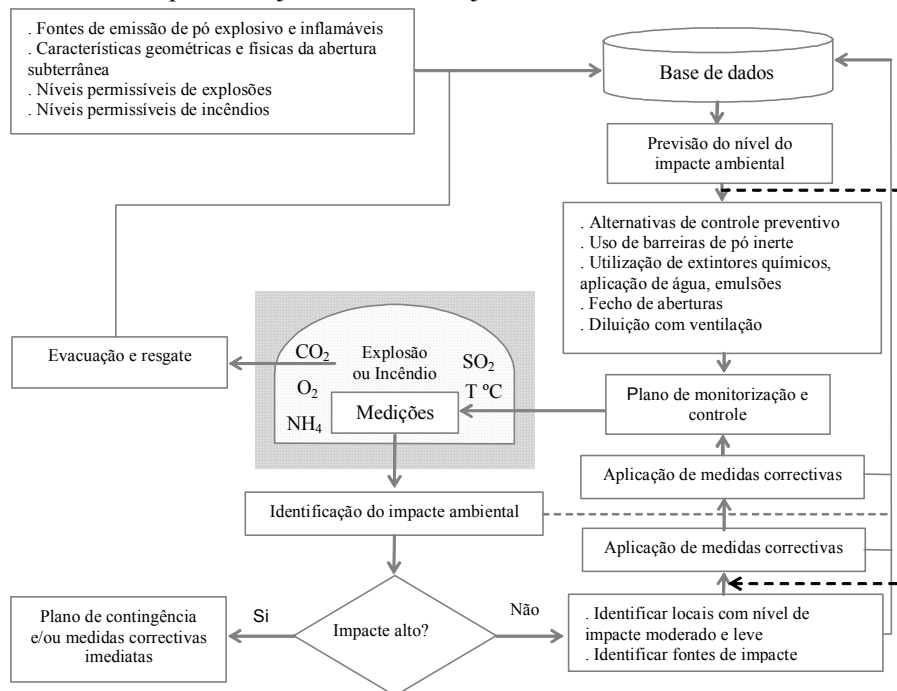


Figura 3.64 – Sistema de gestão de explosões e incêndios no ambiente subterrâneo

3.7. O Ruído na Atmosfera Subterrânea

3.7.1. Efeitos da exposição ao ruído

A poluição sonora é uma contaminação ambiental ocasionada pela energia mecânica ou acústica, que tem reflexos em todo o organismo humano e não apenas no aparelho auditivo.

Os efeitos provocados pelas ondas sonoras no organismo humano podem-se acompanhar observando a fig. 3.65, onde a ação das ondas sonoras ao atravessar o ouvido se distribuem pelos lóbulos cerebrais até chegarem ao sistema nervoso central e daí através da medula se distribuem pelos órgãos humanos. Os efeitos nocivos manifestam-se sob várias formas (fig. 3.65), dando origem a descargas hormonais e perda da audição quando a intensidade é elevada.

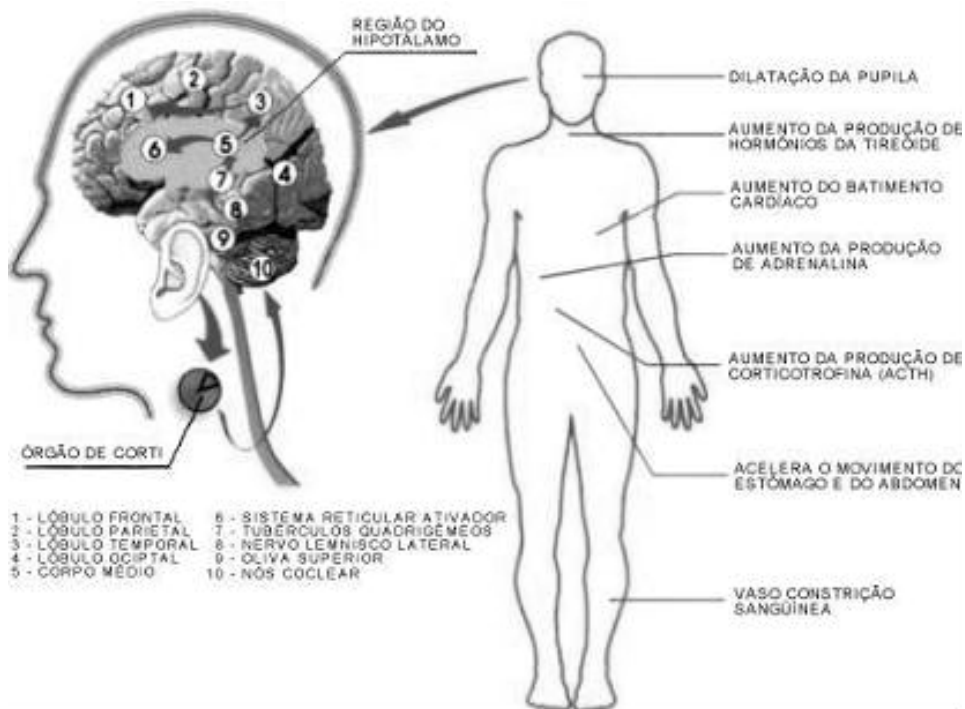


Figura 3.65 – Ação das ondas sonoras nos lóbulos cerebrais e no sistema nervoso central

A ação combinada da intensidade do ruído e o tempo de exposição determinam o nível de dano, de maneira que igual impacto pode ser provocado, quer por um nível de ruído muito intenso durante pouco tempo, quer por um nível baixo em tempo prolongado, o que é ilustrado na fig. 3.66.

Se $L_{Aeq,8h}$ assumir valores menores que 80 dB o risco é insignificante, pelo que também qu é insignificante para $L_{Aeq,3h}$ igual a 86 dB e $L_{Aeq,1h}$ igual a 89 dB. Ainda, é

evidente que o aumento de risco existe quando os níveis do ruído impulsivo atingem o nível de pico L_{pico} de 130 a 150 dB.

Os principais efeitos produzidos sobre o homem pelo ruído expressam-se no aspecto fisiológico (perda da audição até surdez, dores de cabeça, fadiga, distúrbios cardiovasculares, distúrbios hormonais, gastrite, disfunção digestiva, alergias) e no psicológico (perda da concentração, perda dos reflexos, irritação permanente, insegurança quanto a eficiência dos actos, perda da inteligibilidade das palavras) que se nota a partir de 50 a 55 dB (L_{Aeq}) para ruídos estáveis e contínuos.

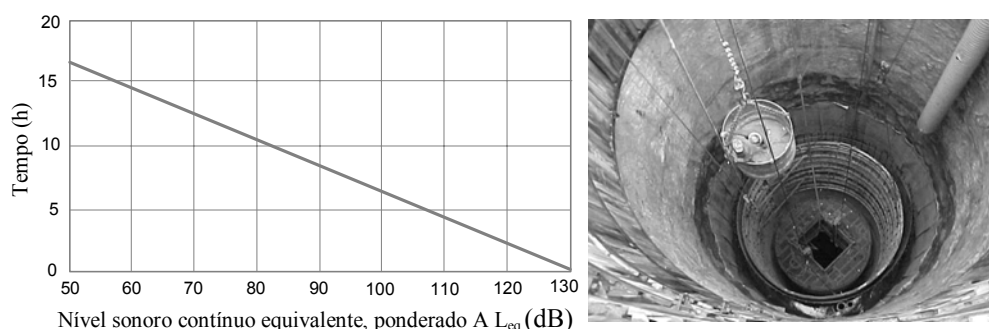


Figura 3.66 – Relação entre o nível do ruído e o tempo de exposição (Gayubas, J.C.S., 1998) e exposição do pessoal ao ruído no ambiente subterrâneo

O risco de surdez permanente varia de acordo com a intensidade e a duração da exposição como foi demonstrado pelo estudo realizado pela *International Standard Organization* ISO 1999 (Tabela 3.76) e contemplada pela Norma Portuguesa n.º 1733 (Tabela 3.77).

Tabela 3.76 – Risco de perda da audição em valores percentuais (ISO 1999)

$L_{Aeq,8h}$ (dB)	Tempo de exposição ao ruído (anos)						
	2	5	10	20	30	40	45
“Normal”	1	2	3	7	14	32	50
85	1	3	6	13	22	42	57
90	3	7	12	23	32	54	65
95	4	10	20	35	45	61	72
100	5	14	31	49	58	74	82
105	8	20	45	65	77	87	91
110	10	28	58	85	91	95	95

A surdez devida ao ruído industrial inicia-se geralmente numa frequência ainda pouco incapacitante – 4000 Hz – dando oportunidade, caso sejam feitas audiometrias periódicas, detectar os que vão desenvolver a surdez e tomar as devidas providências ainda numa fase não incapacitante.

Tabela 3.77 – Risco de surdez devido ao ruído em percentagem, por anos de exposição (definido pela percentagem de indivíduos que adquirem surdez superior ou igual a 25 dB) (<http://www.saudepublica.web.pt>)

Nível dB(A)	Anos de exposição									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
≤80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	1	3	5	6	7	8	9	10	7
90	0	4	10	14	16	16	18	20	21	15
95	0	7	17	24	28	29	31	32	29	23
100	0	12	29	37	42	43	44	44	41	33
105	0	18	42	53	58	60	62	61	54	41
110	0	26	55	71	78	78	77	72	62	45
115	0	36	71	83	87	84	81	75	64	47

Nota: O facto de após muitos anos de exposição, o risco aparentemente diminuir, tem a ver com o ajustamento feito para a idade.

Fonte: Norma Portuguesa NP-1733

Nem todos ensurdecem quando sujeitos à mesma dose de ruído. A susceptibilidade ao ruído é efectivamente muito diferente de pessoa a pessoa. Actualmente, ainda não existe forma de diferenciar com precisão, os que são dos que não são susceptíveis. Isto, aliado ao facto de a surdez ter início nas frequências dos 4000 Hz e não ser percebida pelo próprio, faz com que as audiometrias periódicas sejam extremamente importantes para detectar a surdez, ainda em fase inicial.

Quando a surdez se alarga aos 3000, 2000, e sobretudo aos 1000 e 500 Hz, torna-se impeditiva da normal comunicação oral. É por isso que a avaliação da incapacidade duma hipacúsia leva em consideração a surdez média aos 500, 1000, 2000 e 4000 Hz com ponderação superior para os 1000 Hz.

3.7.2. Fontes do ruído na atmosfera subterrânea

As causas do ruído no ambiente subterrâneo são fundamentalmente relacionadas ao choque da rocha com o material metálico, no processo de perfuração (jumbos e martelos pneumáticos), ao funcionamento de equipamentos com motores pneumáticos, eléctricos ou diesel (ventiladores, bombas, sondas, camiões, LHDs) e à fricção dos pneus com a superfície de tracção ou atrito, entre materiais metálicos (caminho de ferro e rodas de locomotivas e vagões).

O ruído em minas subterrâneas tem relação com as actividades operacionais (fig. 3.67) que geralmente são de perfuração ou corte, disparo ou desmonte, suporte, carregamento, transporte, extracção, ventilação, bombagem, britagem, etc.(Tabela 3.78).

Tabela 3.78 – Níveis de ruído em minas subterrâneas (Vutukuri V.S., et al., 1986, Navarro Torres V.F., 2001)

Tipo de actividade	L_{eq} dB (A)	Tipo de actividade	L_{eq} dB (A)
Máquina perfuradora pneumática	108-130	LHD a gasóleo	88-101
Jumbo electro hidráulico	100-120	Ventilador	90-110
Compressores de ar	90-100	Sondagem	96-100
Viradores de mineral ou estéril	98-100	Bombas de água	90-100
Sistema de extracção (guincho)	80-91	Britagem primário	85-105

Existem fontes de ruído de instalações fixas como as bombas, ventiladores, sistemas de extracção, britagem primário, entre outros e fontes móveis de ruído que são manifestas nas operações de perfuração, carregamento, carga e transporte e outros serviços.

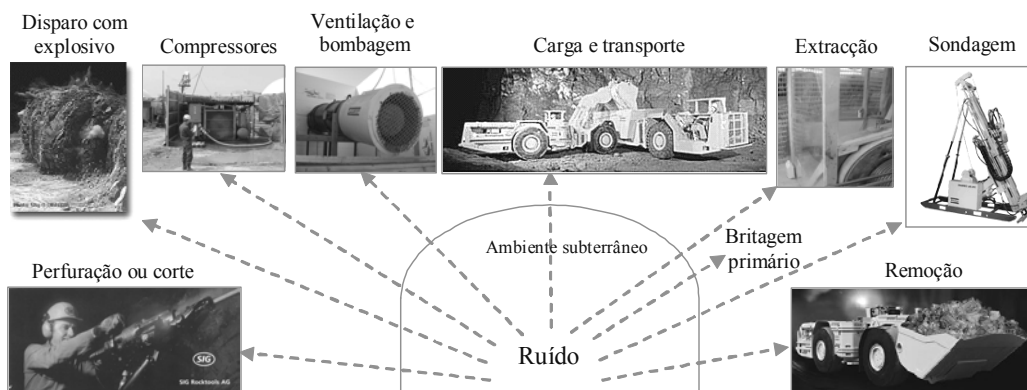


Figura 3.67 – Fontes de ruído no ambiente subterrâneo

As fontes de ruído são geralmente muito complexas e de diferentes frequências pelo facto de terem diferentes níveis de pressão sonora (Tabela 3.79). A frequência normalmente utilizada varia de 31.5 Hz a 8000 Hz.

Tabela 3.79 – Bandas de frequências normalmente utilizadas na avaliação do ruído subterrâneo

Bandas de oitava e frequência de bandas médio											
Limites de banda Hz	22	44	88	176	353	707	1414	2829	5650	11300	2250
Frequência de banda médio Hz	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000	

3.7.3. Caracterização da situação sonora

3.7.3.1. Índices ou níveis do ruído

Para a caracterização do nível do ruído na atmosfera subterrânea utilizam-se os índices que se detalham a seguir. Se o ruído é do tipo *contínuo*, para a caracterização é suficiente o *nível de pressão sonora*; se o ruído é do tipo *variável*, o nível de pressão sonora depende do *tempo de medição*. Para fins ambientais é utilizada a escala de compensação A (fig. 3.68 esquerda).

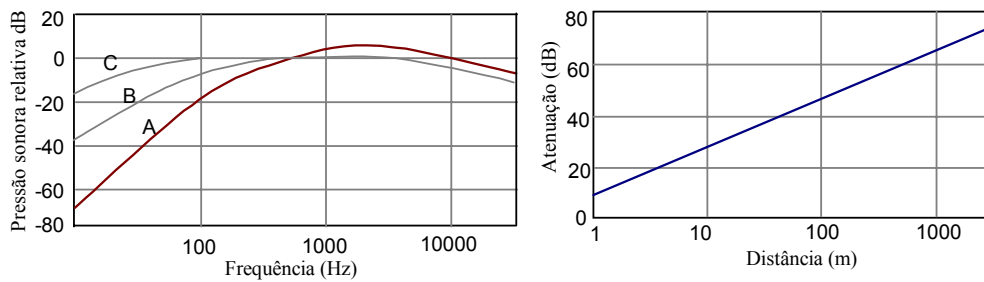


Figura 3.68 – Curvas de compensação A, B e C (Howes, M. J., 1982) e atenuação com a distância (Gayubas, J.C.S., 1998)

Toda a fonte de som cria um campo no ambiente à volta dele, e a partir de ele, a energia sonora propaga-se pelo espaço em todas as direcções. À medida que as ondas sonoras se propagam no espaço, acontece uma redução da energia por dispersão e por absorção molecular no ar e superfície rochosa no caso de aberturas subterrâneas (fig. 3.68 direita). A absorção molecular do ar aparece a altas-frequências (a 4000 Hz há uma atenuação de 1 dB cada 65 m e a baixas frequências é insignificante) devido ao efeito da condutividade térmica. A absorção da energia das moléculas também depende da humidade.

Os padrões existentes servem para avaliar o ruído utilizando vários índices ou níveis como são: o nível de pressão sonora, o nível percentil, o nível sonoro contínuo equivalente, o nível de exposição sonora, o nível pico ou máximo, etc. os que são determinados considerando o tempo de exposição e intensidade sonora, sendo o mais utilizado o *nível sonoro contínuo equivalente*.

Em termos gerais, os níveis de percepção do ruído pelo ouvido humano podem ser estabelecidos como estão na Tabela 3.80.

Tabela 3.80 – Níveis de percepção do ruído em função da pressão sonora

dB (A)	Percepção	dB (A)	Percepção
0 a 20	Silencio	50 a 100	Muito ruidoso
20 a 50	Pouco ruidoso	100 a 140	Nocivo

a) *Nível de pressão sonora* (L_p), é calculado com a equação (3.117) em função do valor eficaz da pressão sonora P (Pa) à que está exposta a pessoa, estando ou não em

movimento, sem considerar o efeito de qualquer equipamento de protecção. A pressão de referência P_o toma o valor 2×10^{-5} Pa (20μ Pa).

$$L_p = 20 \text{Log} \frac{P}{P_o} \quad (3.117)$$

Quando é considerado o valor extremo do limiar de variação da pressão audível, os níveis de pressão sonora extremos variam de 0 dB a 140 dB, como é calculado em seguida:

$$L_p (\text{min}) = 20 \log (2 \times 10^{-5} / 2 \times 10^{-5}) = 0 \text{ dB} \quad e$$

$$L_p (\text{máx}) = 20 \log (100 / 2 \times 10^{-5}) = 140 \text{ dB}$$

O aumento da pressão sonora para o dobro de seu valor significa que o nível de pressão sonora tem acréscimo em 6 dB:

$$L_{P1} = 20 \log (P/P_o) \text{ e } L_{P2} = 20 \log (2P/P_o),$$

$$L_p = L_{P1} - L_{P2} = 20 \log (1/2), \text{ portanto: } L_{P2} = L_{P1} + 6 \text{ dB}$$

b) *Nível percentil* ($L_{NA,T}$), é o nível de pressão sonora em ponderação A que é superado em $N\%$ do tempo medido T (ISO 1996). Exemplo, $L_{A95,1h}$ é aquele nível em dB (A) que foi superado 95% durante 1 hora. Estes valores permitem saber não só o nível num tempo determinado, mas também a distribuição estatística dos níveis da pressão sonora.

c) *Nível sonoro contínuo equivalente* $L_{Aeq,T}$, é o valor médio energético do som ao longo do intervalo de tempo e é definido como o valor do nível de pressão sonora em dB (A) do som contínuo e estável, que dentro de um intervalo de tempo T , possui a mesma pressão sonora quadrática média que o ruído medido e cujo valor varia com o tempo (ISO 1996). A equação (3.118) permite calcular este indicador em função da pressão sonora instantânea $P_{A(t)}$ (Pa), do intervalo de tempo $T = (t_2 - t_1) = \Delta t$ de duração (s), da pressão de referência $P_o = (2 \times 10^{-5}$ Pa ou 20μ Pa) e do nível de pressão sonora ponderada A para a amostra i L_{pAi} (dB).

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P_A^2(t)}{P_o^2} dt = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T 10^{0.1 L_{pAi}} \right] \quad (3.118)$$

d). *Nível de exposição sonora* SEL ou L_{AE} , é definido como o nível constante, que mantido durante 1 segundo, proporciona a mesma energia sonora (em ponderação A) que o ruído medido. Aplica-se para a comparação da presença de ruídos de diferente duração (ISO 1996). Pode-se calcular com a equação (3.119), onde $P_{A(t)}$ é a pressão sonora instantânea (Pa), $t_2 - t_1$ representa o intervalo do tempo (s) e P_o é a pressão de referência (2×10^{-5} Pa).

$$L_{AE} = 10 \log \frac{1}{T_o} \int_{t_1}^{t_2} \frac{P_A^2(t)}{P_o^2} dt \quad (3.119)$$

e) *Nível pico ou máximo* (L_{max}), é o nível em dB (A) que corresponde ao valor máximo da pressão acústica instantânea, para um valor máximo da pressão acústica instantânea P_{max} (Pa) e para uma pressão de referência P_o (Pa), calculado com a equação (3.120).

$$L_{máx} = 20 \log \frac{P_{máx}}{P_o} \quad (3.120)$$

3.7.3.2. Particularidades do ruído em aberturas subterrâneas

A propagação das ondas do ruído em aberturas subterrâneas são de dois tipos: ondas directas e ondas reflectidas (fig. 3.69). No processo de reflexão parte das ondas são absorvidas pela superfície das escavações (rocha ou revestimento ou suporte).

Na atmosfera subterrânea a atenuação do ruído pela distância L_x (m) pode ser calculada pela equação (3.121) proposta por Howes, M.J, (1982), onde L_{ds} é a pressão sonora a uma distância d da fonte em dB (A), P é o perímetro da escavação (m), A é a secção da abertura subterrânea (m^2), d é a distância da fonte do som (m) e α é o coeficiente de absorção (Tabela 3.81).

$$L_{ds} = 12.6 \frac{P}{A} d^{0.8} \alpha^{1.4} \quad (3.121)$$

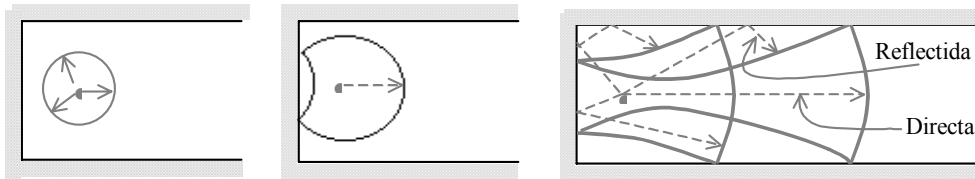


Figura 3.69 – Fases da transmissão do som em ambiente subterrâneo (Howes, M. J., 1982).

Tabela 3.81 – Coeficiente de absorção do som α em escavações subterrâneas (Howes, M. J., 1982)

Frequência de banda média (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Coeficiente de absorção (α)	0.05	0.10	0.13	0.14	0.15	0.16	0.16	0.16

No ambiente confinado a reflexão das ondas somam-se ao nível de pressão do som (Vutukuri V.S., *et al.*, 1986) e em distâncias próximas à frente, a pressão do sonora diminui similarmente ao que ocorre no ambiente aberto, mas para longas distâncias a reflexão das ondas somam os níveis do ruído, sendo os níveis restantes constantes.

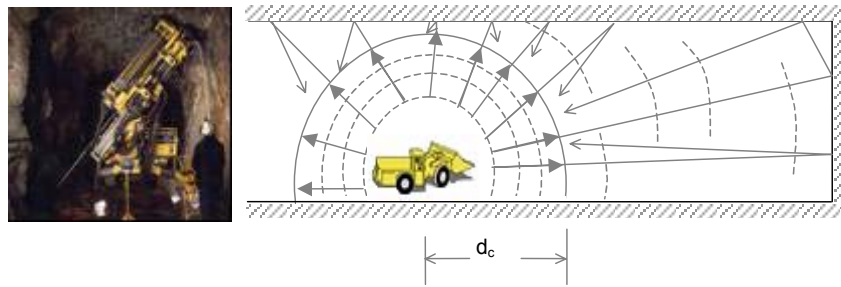


Figura 3.70 – Ruído produzido na operação de perfuração (Simba H1350 Atlas Copco) e conceito de distância crítica (LHD)

Denomina-se *distância crítica* quando há equilíbrio entre transmissão do som directo e o reflectido (fig. 3.70) determinando-se pelas equações (3.122) e (3.123).

$$d_c = 0.14 \left[\frac{S_c \alpha}{1 - \alpha} \right]^{0.5} = 0.14(A)^{0.5} \quad (3.122)$$

$$d_{cse} = 0.2 \left[\frac{S_c \alpha}{1 - \alpha} \right]^{0.5} = 0.2(A)^{0.5} \quad (3.123)$$

em que, d_c é a distância crítica para a fonte de som esférica (m), d_{cse} a distância crítica para fonte de som semiesférico (m), S_c é a soma total da superfície (m^2), α coeficiente de absorção da superfície (piso, tecto, equipamentos, etc.).

No caso de o ruído ser produzido pela acção de só uma fonte, a pressão do ruído emitido deve ser calculado para cada caso, para o qual Howes, M.J, (1982) propõe as expressões referidas nas equações (3.124) a (3.129).

O nível da pressão sonora para *martelos pneumáticos* L_m (dB) é calculado em função do consumo de ar comprimido Q (m^3/s) (equação 3.124) e para estimar o nível de potência sonora para a *banda oitava* corrigem-se usando os valores da Tabela 3.82.

$$L_m = 140 + 10 \log Q \quad (3.124)$$

Tabela 3.82 – Factor de correcção do espectro da banda oitava para martelos pneumáticos

Frequência de banda média (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Correcção (dB)	-20	-12	-5	-5	-10	-12	-13	-15

Para *equipamentos* com motor *diesel*, o nível de pressão sonora do sistema de exaustão do motor L_{de} (dB) calcula-se com a equação (3.125) e considerando o sistema motor L_{dm} (dB) através da equação (3.126), em ambos casos mediante a variável potência do motor P_m (KW).

$$L_{de} = 110 + 10 \log P_m \quad (3.125)$$

$$L_{dm} = 110 + 8 \log P_m \quad (3.126)$$

Para *ventiladores principais* o nível da pressão sonora L_v (dB) é determinado em função da potência do motor P_{mv} (KW), da pressão estática H_v (Kpa) e do caudal de ar Q_v (m^3/s) utilizando quaisquer das equações (3.127), (3.128) ou (3.129). Para estimar o nível de potência sonora em banda oitava corrigir usando os valores da Tabela 3.83.

$$L_v = 97 + 10 \log P_{mv} + 10 \log H_v \quad (3.127)$$

$$L_v = 100 + 10 \log Q_v + 20 \log H_v \quad (3.128)$$

$$L_v = 95 + 20 \log P_{mv} + 10 \log Q_v \quad (3.129)$$

Tabela 3.83 – Factor de correcção do espectro da banda oitava para ventiladores

Frequência de banda média (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Fluxo axial	-7	-9	-7	-7	-8	-11	-16	-18
Centrifuga: - Paleta afrente	-4	-6	-6	-11	-13	-16	-19	-22
- Paleta atrás	-2	-6	-13	-18	-19	-22	-25	-30
- Paleta radial	-3	-5	-11	-12	-15	-20	-23	-26

3.7.4. Normas e padrões de qualidade ambiental sonoro

São reconhecidos dois tipos de poluição por ruído e correspondem normalmente a dois tipos diferentes de padrões.

O *ruído ocupacional* (Tabela 3.84) afecta os trabalhadores durante o tempo de exposição, estando relacionado com o ruído produzido no processo operacional e com o uso de equipamentos com que têm de trabalhar.

Tabela 3.84 – Padrões de ruído ocupacional em exposição de 8 horas por dia (disponível em www.nrca.org/standards/noise/review_noise_standards)

Pais	Fonte	L_{eq} máx. dB (A)	Pico dB (A)
Austrália	<i>Australia National Occupational Health and Safety Commission</i>	85	140
Canada	<i>Canadian Centre for Occupational Health and Safety</i>	85 - 90	135 - 140
Índia	Rules of the Factories Act	90	140
Singapura	Department of Industrial Health	85	
Tailândia	Ministry of Interior	90	
U. K.	Noise at Work Regulations	90	140
E.U. A.	<i>Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labour</i>	90	140
U. E.	European Union Occupational Safety an health	85	140

Nas actividades operacionais que realiza no meio subterrâneo, o trabalhador está exposto a duas condições de ruído: a condição estacionária e a móvel. A condição de referência das normas e padrões é a condição estacionária, mas é aplicável para fontes móveis, considerando a distância desta fonte móvel.

Além disso, no ambiente subterrâneo certos trabalhadores estão expostos ao ruído de tipo ambiental, portanto deve-se avaliar este com os padrões existentes.

O ruído ambiental (Tabela 3.85) é o produzido, por exemplo, pelo tráfico ou outras actividades que não são directamente relacionadas com as actividades do trabalho e neste caso, considera-se um raio de acção em torno da fonte.

Tabela 3.85 – Padrões de ruído ambiental segundo a zona e período dia/noite (disponível em www.nrca.org/standards/noise/review_noise_standards.htm)

País	Zona Industrial	Zona Comercial	Zona Residencial	Zona de silêncio
	Dia/Noite	Dia/Noite	Dia/Noite	Dia/Noite
Austrália (1)	65 / 55	55 / 45	45 / 35	45 / 35
Austrália (2)	65 / 65	60 / 60	50 / 40	45 / 35
Canadá (1)	60 / 55	60 / 55	55 / 45	-
Canadá (2)	65 / 60	65 / 60	55 / 45	-
Índia	75 / 70	65 / 55	55 / 45	50 / 40
Israel	70	55	50	45
Japão	60 / 50	60 / 50	50 / 40	45 / 35
E.U.A (1)	75 / 75	65 / 65	60 / 60	-
E.U.A (2)	65 / 65	65 / 65	65 / 55	-
E.U.A (3)	70	62	55 / 50	-
E.U.A (4)	80 / 75	65 / 60	55 / 50	-
E.U.A (5)	60 / 55	60 / 55	55 / 50	-
E.U.A (6)	70	60	55	45
UE e OMS*	65	55	55 / 45	45 / 35
Austrália (1): Capital Austrália (2): Norte Canadá (1): Distrito norte de Vancouver Canadá (2): A volta do distrito E.U.A (1): Estado de Minnesota		E.U.A. (2): <i>Estado de Delaware</i> E.U.A. (3): <i>Huntsville, Huntsville</i> E.U.A. (4): <i>Denver, Colorado</i> E.U.A. (5): <i>California, Davis</i> E.U.A. (6): <i>EPA</i>		

* OMS : Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization*)

Em relação ao ruído ambiental ainda existem padrões específicos, como para o caso do tráfico ou transporte (Tabela 3.86), sendo o tipo de teste *S* para veículos em estado estacionário e *M* em movimento.

Muitos países utilizam como referência a ISO1996 (*International Standard Organization*) para estabelecer os limites admissíveis. Esta norma tem três partes: ISO 1996 – 1 (Quantidades básicas e procedimentos), ISO 1996-2 (Medição e concentração do ruído) e ISO 1996-3 (Aplicações para os limites do ruído). Os princípios fundamentais para a especificação do limite estabelecido pela ISO 1996 estão na equação

$$L_{Ar,T} = L_{Aeq,T} + K_1 + K_2$$

onde, $L_{Ar,T}$ é o nível de avaliação do ruído, $L_{Aeq,T}$ é o nível sonoro contínuo equivalente ponderado A em período de tempo T (dB), K_1 é o factor de correcção por tono (0 a 6 dB), e K_2 é o factor de correcção por componentes impulsivos (0 a 7 dB). O valor usual é de 5 dB quer para K_1 quer para K_2 .

Tabela 3.86 – Padrões de ruído ambiental para o tráfico ou transporte (disponível em www.nrca.org/standards/noise/review_noise_standards.htm)

Pais/Estado	Distância	Tipo de teste	Pequeno/ Grande Motociclo	Automóvel	Autocarro, Camião (Pequeno)	Autocarro, Camião (Médio)	Autocarro, Camião (Grande)
UE	-	S	75 / 80	74	78	78	80
Índia	-	-	80	82	85	89	91
New York	15.2 m	M	82	79	79	90	90
New York	7.6 m	M	88	85	85	96	96
Huntsville	15.2 m	M	84	84	84	90	90
Albuquerque	15.2 m	M	82	76	76	86	86
Albuquerque	-	S	88	95	95	93	93
Larimer Co.	7.6 m	M	80	80	80	86	86
Denver	7.6 m	M	80	80	80	88	88
Tailândia	7.5 m	S	85	85	85	85	85
Canadá	-	M	77 / 82	82	82	85	85

A legislação da União Europeia no domínio do ambiente – volume 5 – ruído (86/188/CEE) contempla a protecção dos trabalhadores contra riscos de exposição do ruído no trabalho, considerando dois níveis:

Exposição diária ($L_{EP,d}$) determinada pela equação

$$L_{EP,d} = L_{Aeq,T} + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

onde, T é a duração da exposição do trabalhador ao ruído (dias) e T_0 é igual a 8 horas.

Média semanal dos valores diários ($L_{EP,s}$) calculada mediante

$$L_{EP,s} = 10 \log \left[\frac{1}{5} \sum_{k=1}^m 10^{0.1(L_{EP,d})K} \right]$$

onde, $(L_{EP,d})_k$ são valores de $L_{EP,d}$ para cada um dos m dias laboráveis da semana considerada.

A norma da União Europeia especifica que quando o nível de exposição diária ultrapassa os 85 dB (A), o trabalhador deve ser alertado dos riscos e entretanto usar protectores de ruído. Se o nível de exposição diária ultrapassa os 95 dB (A) deve-se pôr em marcha um programa de redução.

O Departamento de Trabalho dos E.U.A. (1971 – 1979) determinou a duração permissível de exposição ao ruído da forma indicada na Tabela 3.87.

Tabela 3.87 – Níveis de ruído permissíveis pelo Departamento de Trabalho dos E.U.A.

Níveis de ruído dB (A)	Exposição (h/dia)	Níveis de ruído dB (A)	Exposição (h/dia)
90	8	102	1.5
92	6	105	1
95	4	110	0.5
97	3	115	<0.25
100	2		

Em Portugal, o Decreto-Lei n.º 251/87 do 24 de Junho alterado pelos diplomas DL 292/89 do 2 de Setembro e DL 72/92 do 28 de Abril, e relacionado à protecção dos trabalhadores contra o ruído Decreto Regulamentar n.º 09/92 do 28 de Abril, no seu Artigo 1 Indica:

O nível de acção da exposição pessoal diária dum trabalhador ao ruído durante o trabalho é igual a 85 dB (A).

O valor limite da exposição pessoal diária dum trabalhador ao ruído durante o trabalho é de 90 dB (A).

Quando se revelarem a existência de homens expostos a um valor igual ou superior aos níveis indicados, recomenda-se tomar as medidas correspondentes (Tabela 3.88).

O Decreto-lei n.º 232/2000 do 14 de Novembro, denominado Regulamento Geral do Ruído modifica as normativas antes indicadas em relação ao ruído ambiental.

Tabela 3.88 – Medidas de protecção da acção do ruído aos trabalhadores em Portugal (DR n.º 09/92 do 28 de Abril)

Quando homens são expostos a 85 dB (A)	Quando homens são expostos de 90 - 140 dB (A)
Avaliação periódica do valor máximo da pressão sonora. Assegurar a vigilância médica e audiometria da função auditiva dos trabalhadores com periodicidade triannual. Disponibilizar gratuitamente protectores de ouvido para o pessoal.	Deve ser posto programa de medidas técnicas destinadas a diminuir a produção ou propagação do ruído

No Decreto-Lei n.º 162/90 do 22 de Maio que instituiu o Regulamento Geral de Segurança e Higiene no Trabalho nas Minas e Pedreiras, no Artigo 149 indica:

- Nos locais de trabalho devem ser adoptadas medidas adequadas à eliminação ou redução da propagação do ruído, não devendo ultrapassar os valores de 85 dB (A) para o ruído e de 200 Pa para pressão acústica instantânea não compensada;
- Quando as medidas técnicas de protecção aplicáveis não forem suficientes, os trabalhadores devem usar protectores auriculares adequados, ou se necessário, limitar o tempo de exposição ao ruído.

No caso de Peru no D.S. n.º 023-92-EM *Reglamento de Seguridad e Higiene Minera* do 13 de Outubro, no capítulo XII e Artigo 278 indica que é necessário proporcionar protecção auditiva quando o nível de ruído para o tempo de exposição indicada seja superior a os valores da Tabela 3.89.

Tabela 3.89 – Valores limites permissíveis de ruído pela legislação peruana (D.S. n.º 023-92-EM *Reglamento de Seguridad e Higiene Minera* do 13 de Outubro)

Níveis de ruído dB(A)	Exposição (h/dia)	Níveis de ruído dB(A)	Exposição (h/dia)
90	8	102	1.5
92	6	105	1
95	4	107	0.75
97	3	110	0.5
100	2	115	<0.25

3.7.5. Matriz base para a identificação do impacte ambiental acústico

Baseado nos padrões internacionais, e especificamente de Portugal e Peru, propõe-se a matriz base (Tabela 3.90) para a identificação do nível de impacte ambiental acústico.

Tabela 3.90 – Matriz base para a identificação de níveis de impacte ambiental acústico

Nível de impacte ambiental acústico	$L_{eq A, 8h}$ dB (A)
Leve	$85 \leq \text{Ruído} < 90$
Moderado	$90 \leq \text{Ruído} < 95$
Alto	Ruído > 95

3.7.6. Medidas correctivas para reduzir o impacte ambiental acústico

Quando o nível de ruído identificado é moderado a alto as medidas tecnológicas correctivas são orientadas para três aspectos: a fonte, a trajectória de propagação ou o receptor.

a) Na *fonte*, a redução do nível de emissão do ruído é conseguida utilizando a atenuação por distância, instalação de tubos para ventiladores (Tabela 3.91) ou com sistemas de atenuação nos equipamentos, como silenciadores para os gases de escape do

motor, uso de silenciadores em série, recobrir com material acústico ou tratamento interno dos condutos, uso de equipamento eléctrico em vez de diesel.

Tabela 3.91 – Atenuação do ruído em tubos de aço e flexíveis (dB/m)

Frequência de banda média (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Tubos de aço 760 mm diâmetro	0.08	0.13	0.17	0.21	0.25	0.28	0.30	0.31
Tubos flexíveis de 760 mm de diâmetro	0.15	0.25	0.55	0.75	0.95	1.05	1.15	1.25

Uma medida importante também é a manutenção preventiva dos equipamentos, que permite eliminar ou atenuar o ruído gerado pelos elementos com muito desgaste.

b) O *isolamento* permite encapsular as operações, equipamentos ou parte de estes com uma estrutura hermética para impedir a saída ou dificultar sua recepção, como são as cabinas insonorizadas dos equipamentos. No isolamento acústico uma parte da onda acústica é reflectida e outra parte transmitida através do tabique de material utilizado.

O isolamento I (dB) produzido por um tabique calcular-se com a equação (3.130) a partir da lei de massas, onde m é a massa por unidade de superfície do tabique (kg/m^2), ω é a frequência angular (rad/s) onde $\omega = 2\pi f/T$, f é a frequência, T é o período (s), e ρc é a impedância acústica do ar ($\sim 400 \text{ kg/m}^2\text{s}$).

$$I = 20 \log \frac{m \omega}{2 \rho c} \quad (3.130)$$

A utilização do tabique simples é ineficaz quando ocorre o fenómeno da *coincidência*, pois este tem lugar a partir da frequência denominada crítica onde o comprimento de onda reflectida é igual ao da onda projectada, gerando a transmissão de ondas para outro lado do tabique. Portanto, toda a energia incidente atravessa o tabique e o isolamento é nulo. Devido a este fenómeno é recomendável construir isolamento com tabique duplo, de distinto material e de diferente espessura. A frequência da ressonância f_o do tabique duplo pode-se obter a partir da equação (3.131), onde d é a distância entre os tabiques (m), m_1 e m_2 são as massas unitárias destes tabiques (kg/m^2).

$$f_o = \frac{65}{d^{0.5}} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)^{0.5} \quad (3.131)$$

É recomendável conseguir um valor de f_o menor que 100 Hz aumentando a espessura dos tabiques e a distância entre eles. Na Tabela 3.92 apresentam-se alguns resultados da técnica do isolamento.

Tabela 3.92 – Isolamento do ruído (dB) para alguns materiais (Falch, E., 1998)

Tipo de material	Frequência da ressonância (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Lâmina de aço (1 mm)	14	21	24	32	36	39
Lâmina de aço (2.6 mm)	23	25	33	34	40	43
Prancha de madeira (20 mm)	24	22	27	28	25	27
Vidro (6 mm)	17	23	25	27	28	29
Betão (100 mm)	29	35	37	43	44	50

c) Uso de materiais *resiliêntes*, como a borracha ou fibra de vidro, colocados nas partes de forte impacto entre o material sólido e estrutura metálica reduz o ruído do impacto. Como exemplo podem-se referir os pontos de transferência do material nas telas transportadoras (fig. 3.71) ou descarga de material sobre camiões. Existem ainda outras técnicas como a cortina de ar, controle activo de ruído etc.

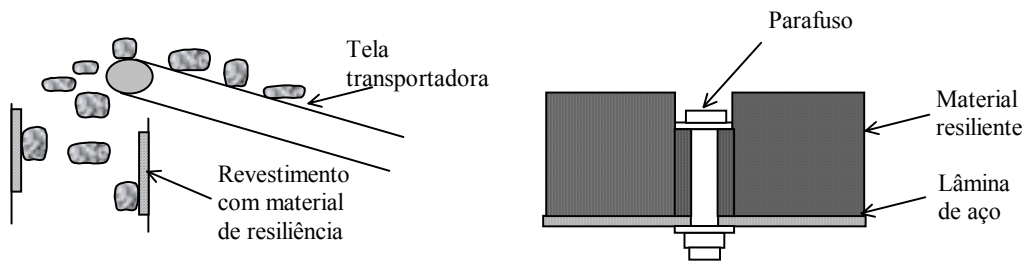


Figura 3.71 – Colocação de material de resiliência em lâmina de aço

d) *Protecção do ouvido*, é a última medida de isolamento do homem para atenuar a acção do ruído. As principais medidas são: protecção auricular de distintos tipos e tampões (plástico, algodão, etc.).

Os protectores de ouvido reduzem o nível do ruído no ouvido de 10 a 45 dB dependendo do modo de operação e frequência do ruído (fig. 3.72) e existem de quatro tipos (Tabela 3.93).

Tabela 3.93 – Tipos de protectores de ouvido

Tipo de protector	Uso
Tampão do ouvido	Inserção no canal do ouvido
Semi-inserido	Fecho da entrada do canal do ouvido
Orelheiras	Cobre totalmente a orelha
Capacete com orelheira	Cobre totalmente a orelha

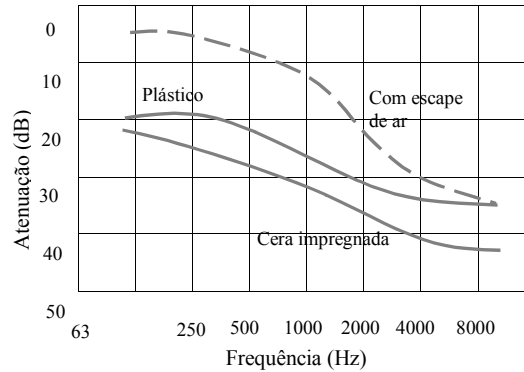


Figura 3.72 – Atenuação dos tampões de ouvido

3.7.7. Monitorização e controle

Os padrões de medição consideradas pelas normas ISO são a ISO 3740, a ISO 8297, a ISO 11201 e a ISO 11204 a nível de Portugal estão regulamentados mediante os Decretos-Leis já referidos e a Norma Portuguesa NP-1730.

a). O *instrumento* principal para a medição do ruído é o sonómetro, cujas partes são ilustradas pela fig. 3.73. O microfone recebe as vibrações da pressão do ruído e as transforma em sinal eléctrica, o pré amplificador nivela a impedância do sinal do microfone, depois é ponderado a A (mais usado) ou C, o amplificador controla o nível de ruído entre a distorção e o sinal do ruído de fundo, os filtros externos permitem analisar a frequência do sinal, o detector serve para caracterizar a sinal de entrada (detectores de media quadrática RMS, de integração e de pico), o indicador ou visor mostra os sinais detectados em dB baseado em padrões internacionais 2×10^{-5} Pa. Os sonómetros também têm registador em fita magnética o memória, que permite acumular as medições, para depois transmitir ao computador e também um analisador estatístico de níveis.

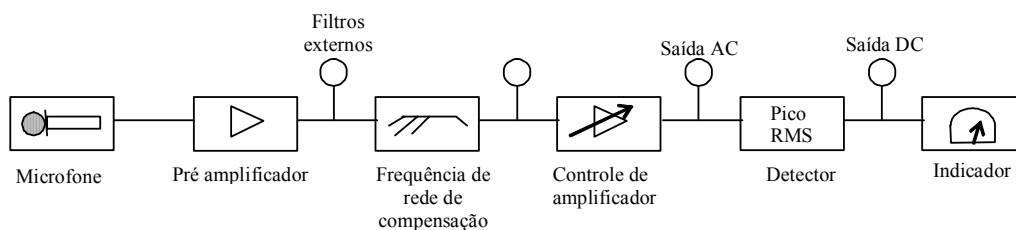


Figura 3.73 – Componentes principais de um medidor de ruído (Bell, L.H. et al., 1994)

O detector de ruído deve ser calibrado antes das medições sendo o método mais comum usar o calibrador portátil para aplicar na cápsula do microfone. Este calibrador proporciona um nível de pressão do ruído para frequências de 94 dB a 1000 Hz. O medidor do nível sonoro calibra-se até que o leitor do medidor seja igual ao nível nominal do calibrador.

b) As medições do ruído são afectadas pela *temperatura* (correção de 1 dB), *humidade*, *velocidade do ar* (~ 3 m/s) e *ruído de fundo* (quando a diferença entre o ruído de fundo e sinal do ruído é maior de 10 dB o ruído de fundo é insignificante).

c) No ambiente subterrâneo, a monitorização deve-se realizar em três (3) a cinco (5) pontos de medição para cada fonte de ruído (fig. 3.74), localizadas a uma distância $d > 1$ m ($d > d_{cse}$ distância crítica) da parte central da geometria do equipamento que constitui fonte de ruído. Além disso, deverá estar localizado a 1 m dos hasteais, tecto e piso, a 2 m das esquinas da escavação e a 1.5 m de qualquer abertura para o exterior.

O nível acústico calcula-se com as equações (3.132) e (3.133), onde L_e é o nível de pressão acústico (dB), L_m é o valor médio da pressão do ruído medido em 5 estações (dB), $A = \infty S_s$, é superfície de absorção acústica (m^2), A_d é a superfície de absorção acústica de referência (~ 1 a m^2), r é a distância radial da fonte de ruído ao ponto de medição (1 m ou 3 m), r_p é a distância ponderada do espaço circundante do equipamento que é fonte de ruído (m) e $r_p = (ab + ac)^{0.5}$ com a , b e c indicadas na fig. 3.73 e fig. 3.74.

$$\text{Para minas subterrâneas: } L_e = L_m + 10 \log \frac{A}{A_d} + 6 \quad (3.132)$$

$$\text{Para túneis de grande secção: } L_e = L_m + 20 \log \frac{r}{r_p} + 10 \log 2\pi \quad (3.133)$$

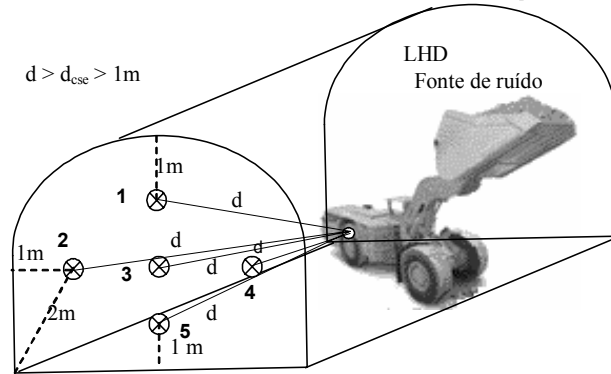


Figura 3.74 – Estações de medição do ruído em aberturas subterrâneas de menor secção

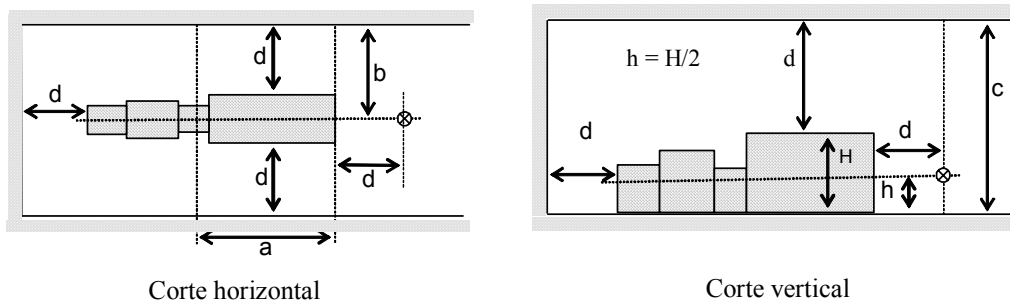


Figura 3.75 – Estações de medição do ruído para aberturas subterrâneas de grande secção

Os registos de dados deverão compreender a descrição da fonte sonora (características e condições de operação e fonte de ruído), o ambiente (localização da fonte e descrição de hasteais, tecto, piso, etc.), o instrumento (detalhe técnico), os dados de medições (data, nível e método de calibração, tempo de prova, localização e orientação do microfone, constantes de tempo do instrumento *fast* e *low*, nível de ruído de fundo, processos de medição) e observações.

A engenharia do ruído no ambiente subterrâneo sistematiza o tratamento deste problema mediante um procedimento ordenado (fig. 3.76) que considera a determinação das fontes, caracterização do ambiente, identificação do nível de impacte ambiental acústico, estudos para procura de medidas correctivas que atenuem a níveis permissíveis, aplicação da alternativa mais viável, monitorização e controle para determinar a

efectividade e eficácia da alternativa aplicada e dessa forma conseguir uma qualidade ambiental dentro dos padrões existentes.

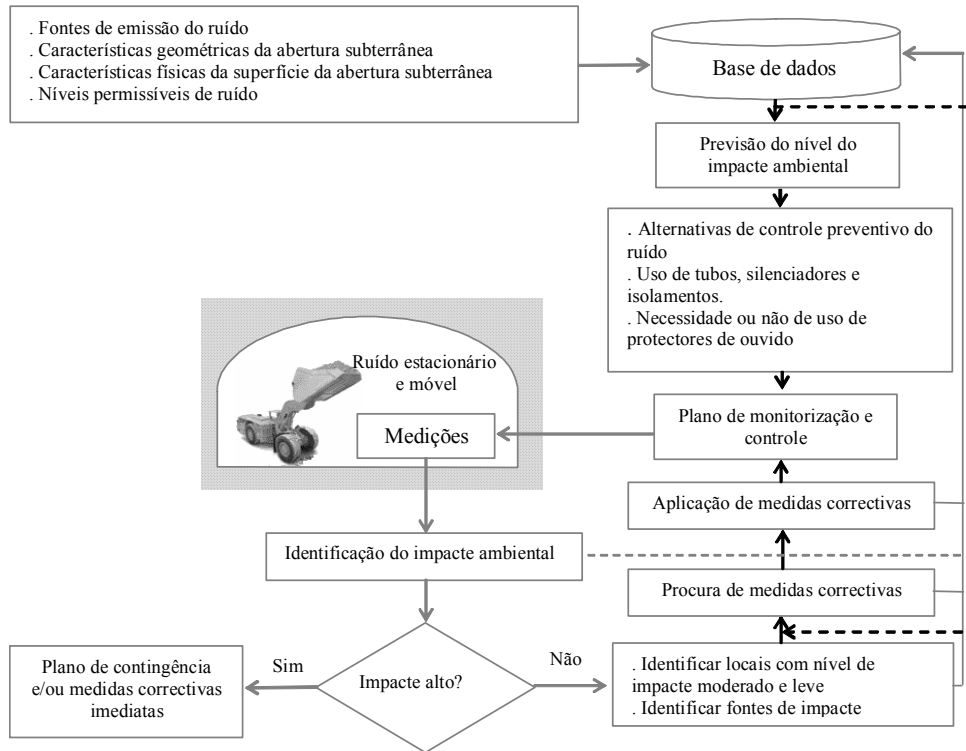


Figura 3.76 – Sistema de gestão do ruído no ambiente subterrâneo

Capítulo 4

ÁGUA SUBTERRÂNEA E DRENAGEM ÁCIDA

4.1. Efeitos ambientais pela alteração das condições naturais das águas subterrâneas

Como já foi referido, o ambiente, além do espaço físico que o compõe, inclui quatro importantes domínios: litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera. No âmbito subterrâneo, a hidrosfera está representada pelas águas subterrâneas.

O homem, visando a satisfação das suas necessidades e a consecução das suas mais nobres aspirações e seu constante desenvolvimento, precisa dos recursos naturais, como os minerais, que muitas vezes ocorrem em zonas cuja profundidade e condições geológicas e geotécnicas, exigem a aplicação de métodos de exploração subterrânea.

As explorações subterrâneas requerem a realização de aberturas subterrâneas de diversos tamanhos (secção e comprimento), diferentes posições (horizontais, inclinadas e verticais) e variadas profundidades. Estas acções humanas causam alterações das condições naturais do meio rochoso e das águas subterrâneas. O desequilíbrio das condições naturais das águas subterrâneas alteram o ecossistema, podendo comprometer a saúde e a vida do próprio homem, assim como a sobrevivência e segurança do elemento biológico no âmbito da acção de exploração.

Os efeitos ambientais devido à alteração das condições naturais das águas subterrâneas manifestam-se não só no espaço subterrâneo mas também no espaço exterior, quando as mesmas alcançam a superfície, quer por causas naturais quer por bombagem em furos de sondagens e/ou captações.

Os impactes ambientais negativos no meio subterrâneo, manifestam-se pelo risco de inundação das aberturas existentes, pela influência no comportamento geotécnico do maciço rochoso envolvente, e pela formação da drenagem ácida, ao entrar em contacto com massas de mineral e rocha exposta, conseqüentemente estas manifestações ambientais, comprometem a saúde e a vida humana e arriscam também o normal desenvolvimento das operações.

Os riscos ambientais no âmbito de acção do meio exterior do projecto, expressam-se pelo facto de afectar a sobrevivência e fecundidade da biodiversidade e do próprio homem, devido às alterações das propriedades físico-químicas da água superficial, ocasionadas pela descarga de águas ácidas e/ou contaminadas.

As inesperadas inundações no ambiente subterrâneo podem originar perdas nas instalações e equipamentos, paralisando o processo produtivo e, inclusivamente, atentar à vida humana (afogamento).

Os efeitos negativos da poluição das águas naturais, devido às actividades do homem, manifestam-se na afectação dos seres vivos existentes nestas águas (Tabela 4.1), na agricultura (rega) e saúde humana.

Tabela 4.1 – Efeitos dos poluentes de águas naturais nos organismos vivos

Fontes da poluição	Efeitos dos poluentes
Efluentes da mineração, águas residuais sedimentadas e pouco tratadas	Morte directa de organismos vivos
Efluentes industriais, alta concentração de metais pesados	Muito tóxicos e morte de outros organismos vivos
Redução do oxigénio, adição de fertilizantes e afecção ao crescimento e reprodução	Afecção indirecta dos organismos vivos

No caso específico de águas subterrâneas em ambientes de exploração mineira a poluição manifesta-se pela *drenagem ácida*, que consiste na alteração do nível de acidez (pH), e contaminação com partículas inertes (argila, sedimentos, resíduos) e com metais pesados (Cr, Cu, Pb, Hg, As, etc.), que em certas concentrações provocam a morte de organismos vivos.

Estudos realizados demonstram que as águas com um pH <5.5 em combinação com alumínio dissolvido *maior* que 0.2 mg/l e dureza *menor* que 12 mgCaCO₃/l, ocasionam danos ecológicos consideráveis (Kiely G., 1999).

O nível de acidez da água pode afectar os organismos vivos de maneira directa, mediante a tensão fisiológica, ou indirecta, mediante mudanças no abastecimento de alimentos, agressão aos habitat e depredação.

Em águas extremamente ácidas (pH ≤5) existem muito poucas espécies (por exemplo peixes) em comparação de águas menos ácidas (pH ≥6.5). A acidez afecta os peixes em muitos aspectos, como por exemplo na fisiologia das guelras, do aparelho reprodutor, da sangue, etc.

O mercúrio parece que não gera riscos consideráveis para muitos animais aquáticos como os moluscos, atum, peixe-espada; assim como para aves e mamíferos aquáticos que no seu organismo concentram consideráveis concentrações de mercúrio (0.2 a 1.3 ppm) e parece que o selénio contrasta o efeito tóxico do mercúrio. O consumo humano destes produtos animais constituem risco potencial, pelo que União Europeia estabeleceu um limite máximo permissível de 0.3 µg/g e os E.U.A. de 1 µg/g (Clark, R.B., 1992).

O cádmio pode provocar danos irreversíveis nos rins e aparição da *nephrii proteinum* caracterizada pela perda de proteínas na urina. O chumbo não parece ser especialmente tóxico para os organismos aquáticos.

Para o homem a alcalinidade ou dureza da água fundamentalmente produz um sabor inaceitável, mas os excessos dos seus parâmetros fisico-químicos podem provocar uma série de afecções à saúde (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Efeitos na saúde do homem pela água poluída com metais pesados (Kiely, G., 1999)

Poluente	Efeitos para a saúde
Arsénio, As	Tóxico, dermatológico e afecta o sistema nervoso
Bário, Ba	Tumores benignos
Cádmio, Cd	Problemas nos rins
Cromo, Cr	Fígado, rins, pele e sistema digestivo
Cobre, Cu	Moléstias de estômago e intestinos, doença de wilson
Flúor, F	Danos nos ossos
Chumbo, Pb	Danos ao sistema nervoso central e periférico, rins, muito tóxico para crianças e mulheres gestantes
Mercúrio, Hg	Danos aos rins e sistema nervoso.
Nitrato	Síndrome de “menino azul”
Sódio, Na	Possível aumento da tensão sanguínea

Devido às diferentes e particulares condições climáticas do nosso planeta, a água pode ser encontrada, em vários estados: sólido, líquido e gasoso; como é manifesto no ciclo hidrológico ou ciclo da água (fig. 4.1) cujo grande motor é o calor irradiado pelo sol.

Em termos gerais, de cada 100 unidades de água de chuva, 1 unidade representa água de filtração subterrânea, 38 unidades a água de escoamento superficial e 61 unidades correspondem à evapotranspiração.

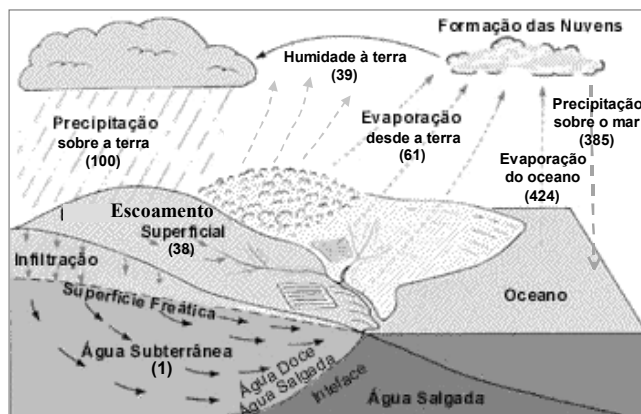


Figura 4.1 – Ciclo e balanço hidrológico médio anual global em unidades relativas a um valor de 100 para a precipitação sobre a terra (adaptado de Chow, *et al.*, 1988)

4.2. Fontes de riscos ambientais relacionadas com águas subterrâneas

4.2.1. Quantidade ou caudal

A água evapora dos oceanos, da terra (superfície) e de outras massas de água e em menor proporção da superfície terrestre. Os oceanos contêm o 96.5% de toda água quando os rios ocupam só 0.0002%. De toda a água existente no planeta Terra só 2.7% é água doce e que de toda a água doce disponível para uso da humanidade, cerca de 98% está na forma de água subterrânea.

A água subterrânea pode ocorrer tanto em rochas duras compactas (rochas ígneas e metamórficas), como em rochas sedimentares não consolidadas (areias e cascalhos, por exemplo) e também nas de maior consistência (calcários).

O caminho subterrâneo das águas é o mais lento de todos, devido a que a percorrem zonas do solo, zona intermédia e franja capilar e, finalmente, depositam-se na zona saturada (fig. 4.2).

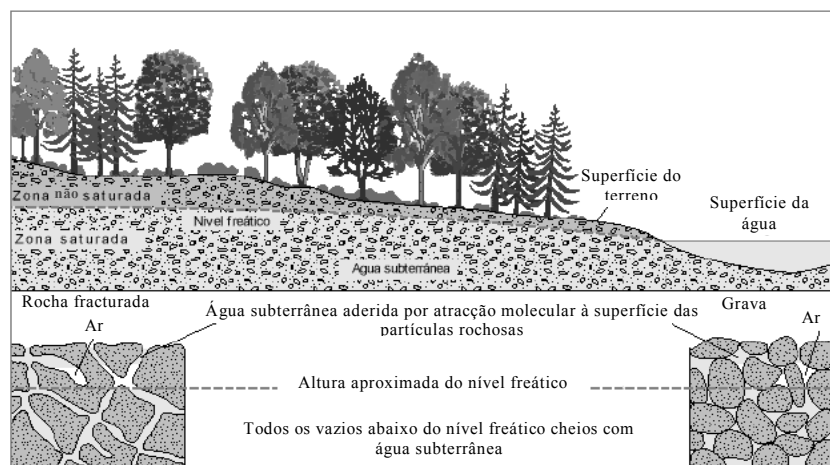


Figura 4.2 – Ocorrência da água subterrânea e referência do nível freático

As rochas sedimentares correspondem apenas a 5% de todas as rochas da crosta terrestre, sendo responsáveis pelo armazenamento de cerca de 95% da água subterrânea existente no planeta, devido às suas características de material mais poroso.

Os aquíferos, de forma geral, podem ser classificados em relação ao tipo de rocha armazenadora, em *aquíferos contínuos* (porosidade primária) e *descontínuos* (porosidade secundária). Os primeiros estão associados às rochas sedimentares, e os segundos, principalmente as rochas ígneas e metamórficas (o calcário apesar de origem sedimentar apresenta porosidade secundária).

Aquíferos contínuos, são tipos de aquíferos que se caracterizam por uma fase sólida, constituída por grãos de natureza petrográfica, forma e dimensões, muito variadas e apresentam espaços vazios de pequenas dimensões definidos como poros ou interstícios que são ocupados por líquidos ou gases: água, ar ou vapor de água.

A maior ou menor potencialidade desse tipo de aquífero depende, principalmente, do percentual de vazios da matriz da rocha (porosidade total) e da conectividade entre eles (permeabilidade). Muitas vezes esses poros podem ser preenchidos por material (cimentação) tal como se vê na fig. 4.3, e que diminui o volume de vazios e algumas vezes por material fino que podem tornar a rocha totalmente impermeável.



Figura 4.3 – Potencialidade do tipo de aquífero em função dos poros

Os aquíferos contínuos podem ainda ser classificados, em função da pressão a que está submetida a água, em *livres* e *confinados*.

Aquíferos livres: a forma da superfície superior do aquífero (nível freático) depende da topografia do terreno em parte, tendendo em geral a acompanhar a conformação da superfície do solo. O limite superior do aquífero é definido pela própria superfície do lençol.

Na superfície do lençol, a água nos poros do aquífero encontra-se sob pressão atmosférica como se estivesse em um reservatório ao ar livre (fig. 4.4.a). A pressão hidráulica em determinado ponto do lençol freático é igual à sua profundidade multiplicada pelo peso volúmico da água, medida da superfície livre até o ponto em questão, podendo ser expressa pela coluna de água ou pressão hidrostática, em metros.

Quando um poço é perfurado num lençol freático, o nível estático da água no poço é o mesmo que o da superfície livre do aquífero. A superfície livre do lençol não é estacionária, movendo-se periodicamente para cima quando a zona de saturação recebe mais água de infiltração vertical e para baixo nos períodos de estiagem e/ou quando a água armazenada previamente flui para as nascentes, cursos de água, poços e outros pontos de descarga da água subterrânea.

Os aquíferos confinados, quando um aquífero se encontram entre duas camadas impermeáveis este, se encontra confinado (fig. 4.4.b). Pelo facto de a camada confinante superior ser impermeável, a água encontra sob uma pressão maior que a pressão atmosférica.

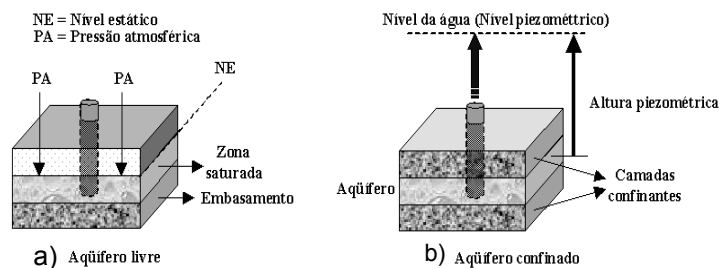


Figura 4.4 – Esquema do aquífero livre e confinado

Quando um poço é perfurado através da camada superior confinante atingindo o aquífero, a altura da água no poço apresenta a pressão a que se encontra submetida a água no aquífero (fig. 4.5). A pressão hidrostática em determinado ponto do aquífero é expressa em metros de água sendo igual à distância vertical desse ponto naquele nível multiplicado pelo peso volúmico da água.

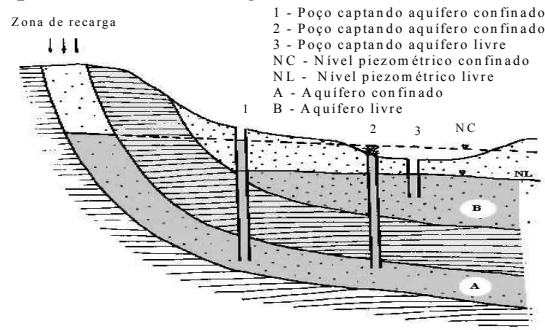


Figura 4.5 – Esquema de aquíferos contínuos (livres e confinados)

Uma superfície imaginária representando a pressão em todos os pontos ou parte de um lençol confinado é a *superfície piezométrica*. Esta é análoga à superfície efectiva do lençol dos aquíferos livres.

Os *aquíferos descontínuos*, são compostos por rochas duras cujos principais vazios são essencialmente constituídos por fracturas abertas (fig. 4.6.a). As águas nesses tipos de rochas são encontradas preenchendo estas fracturas e apresentam características bem distintas daquelas dos aquíferos contínuos. Os aquíferos constituídos por zonas abertas por dissolução como nos calcários são denominados aquíferos cársticos (fig. 4.6.b).

Em relação ao potencial hidrogeológico entre os tipos de falhas, as normais são as que apresentam as melhores características em função de se originarem a partir de esforços de tracção, tendendo a apresentar maiores aberturas. As do tipo inverso e transcorrente são fruto de esforços compressivos, gerando planos de falha muito fechados, sendo as do tipo transcorrente de menor potencialidade uma vez que são associadas a processos de milonitização. Com respeito as fracturas, devem sempre ser consideradas aquelas resultantes de esforços de tracção por estarem mais abertas; mas as resultantes de cisalhamento são fechadas.

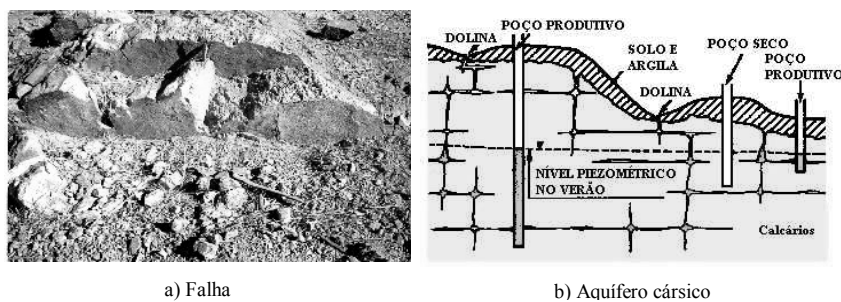


Figura 4.6 – Falha no maciço rochoso (aquífero descontínuo) e aquífero cárstico

O fluxo da água subterrânea em aquíferos fracturados depende essencialmente das características das fracturas presentes cujos principais elementos são a sua abertura, rugosidade das paredes e material de preenchimento.

4.2.2. Alteração da qualidade natural da água por drenagem ácida das rochas

Drenagem ácida de rochas resulta da oxidação de minerais sulfurados e lixiviação de metais associados, que provem de rochas sulfurosas quando são expostas ao ar e água. Este processo é função do tempo e compreende processo de oxidação quer química quer biológica, tais como a precipitação e o encapsulamento.

A fig. 4.7 ilustra o processo da drenagem ácida de rochas em função do pH e o tempo, compreendendo três etapas.

Este processo geralmente caracteriza-se por valores de pH abaixo de 7 e até 1.5, alcalinidade decrescente e acidez crescente alta concentrações de sulfato, metais e sólidos dissolvidos totais (Tabela 4.3).

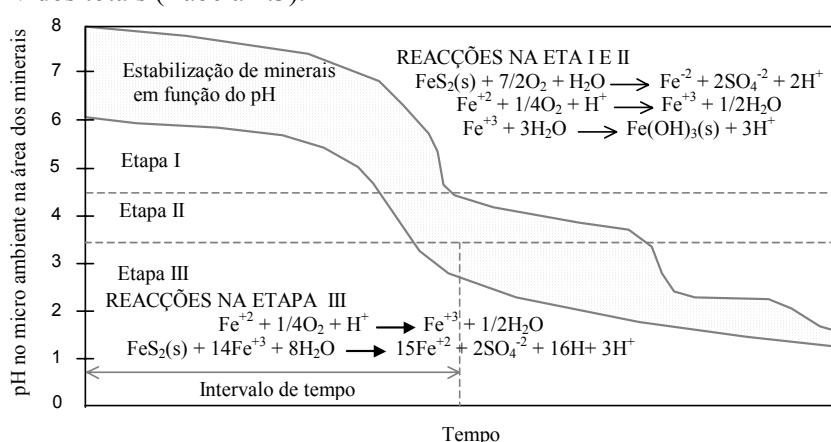


Figura 4.7 – Esquema das etapas em drenagem ácida de rochas (Summers, L., et al., 1999)

Nas explorações mineiras as fontes primárias principais da drenagem ácida são as pilhas de escombros, as pilhas de lixiviação, as barragens de rejeitados, as frentes de exploração subterrâneas e/ou de céu aberto ou cortas de pedreiras e outras actividades como a construção de estradas.

Os minerais sulfurados estão geralmente abaixo da capa do solo e do nível freático, que dentro de certas condições naturais existe algum mínimo contacto com o oxigénio, permitindo a geração de água ácida a uma velocidade muito baixa com efeito insignificante sobre a qualidade da água. Mas quando a rocha sulfurosa é exposta reage com o ar e água acelerando a velocidade de geração ácida e consequentemente ocasionando um potencial risco ambiental.

Tabela 4.3 – Etapas no processo da drenagem ácida de rochas (Summers, L., et al., 1999)

Etapas	Descrição
I	Ao produzir-se a oxidação química dos minerais sulfurosos e gerar-se acidez, existe uma alcalinidade suficiente (CaCO_3) para neutralizar a acidez e precipitar o ferro em forma de hidróxido e assim manter água que escoar sobre a rocha neutra a alcalina ($\text{pH} > 7$).
II	Ao diminuir a fonte alcalina (esgotamento ou inacessibilidade aos minerais carbonatados, CaCO_3) o pH da água decresce até 4.5 e 3.5 (acidez algo alta) e ocorrem reacções de oxidação química e biológica, água drena com altas concentrações de Fe^{2+} e SO_4^{2-} .
III	Ao descer o pH a acidez aumenta, as reacções de oxidação química transformam-se a biologicamente catalisadas e o Fe^{2+} transforma-se em Fe^{3+} . Água que drena é ácida ($\text{pH} < 3.5$) com SO_4^{2-} e metais dissolvidos de alta concentração.

Na exploração mineira e particularmente na subterrânea (fig. 4.8), as superfícies expostas usualmente são as zonas dos jazigos minerais pelo que têm conteúdo de metal mais alto que a zona de estéreis. Além de isso as técnicas de exploração permitem gerar uma grande área de rocha fragmentada, que em contacto com o ar e água produzem águas ácidas. Outro aspecto que influencia na alteração ambiental das águas subterrâneas é o desabamento que podem provocar as aberturas da exploração e a utilização do enchimento hidráulico.

Os minerais mais comuns em minas metálicas que podem ser activados pela oxidação e lixiviação e gerar drenagem ácida estão apresentados na Tabela 4.4. Os minerais de cobre podem estar associados com zinco, arsénio e níquel e com menor frequência com cádmio e chumbo. Nos jazigos estes metais apresentam-se como sulfuretos que incluem calcopirite, pirite, arsenopirite, galena e esfalerite.

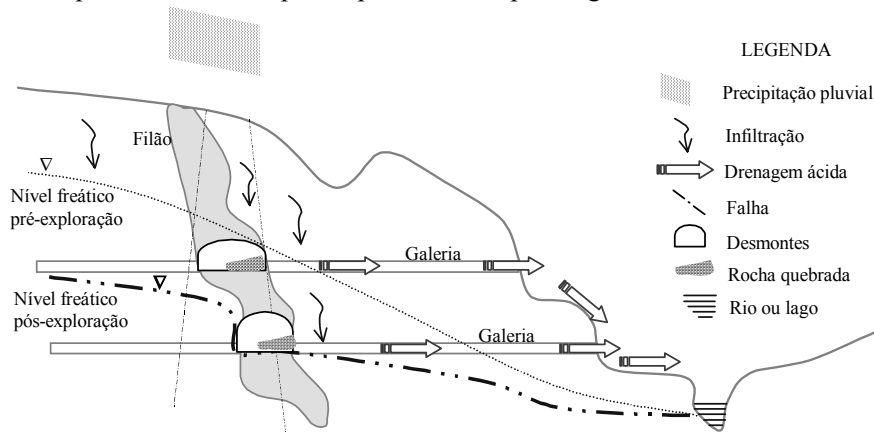


Figura 4.8 – Água subterrânea e drenagem ácida de rochas

Os metais associados com minerais de cobre e ouro em forma de sulfosais têm a tendência a apresentar-se num maior estado de oxidação.

4.3. Caracterização de águas subterrâneas

4.3.1. Balanço hidrológico e caudal de água subterrânea

A equação do balanço hidrológico, é baseado na conservação da massa de água num sistema, seja a escala regional ou de bacia e está dada pela equação (4.1), onde P representa a precipitação (mm/dia), ES é o escoamento superficial, EV é a evaporação, ΔH é a mudança no nível de água subterrânea e ΔS é a mudança no nível de humidade do solo. Esta equação pode variar no caso de existir escoamento de água entre bacias vizinhas.

$$P = ES + EV \pm \Delta H \pm \Delta S \quad (4.1)$$

Tabela 4.4 – Minerais e produtos aquosos de oxidação completa (Lawrence, R.W., et al., 2000)

Metal	Mineral	Produtos da oxidação iónica
Ferro	Pirite, FeS ₂	Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Pirrotite, Fe _{1-x} S	Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Marcassite FeS ₂	Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Cobre	Calcopirite, CuFeS ₂	Cu ²⁺ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Covelite, CuS	Cu ²⁺ , SO ₄ ²⁻
	Calcosina, Cu ₂ S	Cu ²⁺ , SO ₄ ²⁻
	Bornite, Cu ₅ FeS ₄	Cu ²⁺ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Zinco	Esfalerite, ZnS	Zn ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Marmatite, (Zn,Fe)S	Zn ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Chumbo	Galena, PbS	Pb ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Níquel	Milherite, NiS	Ni ²⁺ , SO ₄ ²⁻
	Pentlandite, (Fe, Ni) ₉ S ₈	Ni ²⁺ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Manganês	Rodocrosite, MnCO ₃	Mn ²⁺ , Mn ³⁺ , Mn ⁴⁺
	Alabandite, MnS	Mn ²⁺ , Mn ³⁺ , Mn ⁴⁺
Molibdénio	Molibdenite, MoS ₂	MoO ₄ ²⁻ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Arsénio	Arsenopirite, FeAsS	AsO ₄ ³⁻ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Realgar, AsS	AsO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Oropimente, As ₂ S ₃	AsO ₄ ³⁻ , Cu ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Tetraedrite, Cu ₁₂ (Sb,As) ₄ S ₁₃	Cu ²⁺ , SbO ₃ ³⁻ , AsO ₂ ³⁻ + SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Mercúrio	Cinábrio, HgS	Hg ²⁺ , SO ₄ ²⁻ + H ⁺
Cobalto	Cobaltite, CoAsS	Co ²⁺ , AsO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺

A intensidade da precipitação pluvial P (mm/h) pode-se calcular pela equação de Dillon, 1954 (4.2), onde T é o período de retorno (anos) e t é a duração da chuva (minutos) e mediante a equação de Holland, 1967 (4.3) que inclui o parâmetro N que é o número de sucessos em 10 anos.

$$P = 152.T^{0.2}t^{0.6} \quad (4.2)$$

$$P = 25.4 \left(\frac{t}{60N} \right)^{0.318} \quad (4.3)$$

Os valores típicos de escoamento superficial e precipitação pluvial variam segundo os continentes e regiões (Tabela 4.5 e na Tabela 4.6). O continente com maior precipitação pluvial, evapotranspiração e escoamento superficial é a América do Sul e o que registra valores mais baixos é Austrália sendo o continente Europeu ligeiramente baixo.

Tabela 4.5 – Balanço hidrológico de continentes (Baumgartner e Reichel, 1975)

Continente	Área (10 ⁶ km ²)	Precipitação (mm/ano)	Evapotranspiração (mm/ano)	Escoam. Superf.(mm/ano)
Europa	10.0	657	375	282
Sul América	17.9	1564	946	618
Norte América	24.1	645	403	242
Ásia	44.1	696	420	276
África	29.8	695	582	114
Austrália	7.6	447	420	27
Antártida	14.1	169	28	141
Total terra	148.9	746	480	266

A *Hydraulic Research, de Wallingford* (1983) propõe a equação (4.4) para o cálculo do escoamento superficial Q_e (m³/s), baseado no coeficiente volumétrico de escoamento superficial C_e (Tabela 4.7), intensidade de chuva P (mm/h) e área da bacia A (Km²).

$$Q_e = 0.3614C_ePA \quad (4.4)$$

Baseado no ciclo e balanço hidrológico de Chow, *et al.*, (1988) (fig. 4.1), a quantidade da água subterrânea Q_s (m³/s) calcula-se com a equação (4.5) considerando como variável o caudal das águas do escoamento superficial (Q_e) e mediante a equação (4.6) para Q_s em equivalente a mm/h e em função da precipitação pluvial (P).

$$Q_s = 0.02632Q_e = 0.00951C_ePA \quad (4.5)$$

$$Q_s = 0.01P \quad (4.6)$$

A capacidade de produção de água subterrânea depende de vários parâmetros que são:

- *Produção específica (PE)*, é a quantidade de água do aquífero, expressa em percentagem, que drena livremente pela influência da gravidade. É menor em relação à porosidade, já que parte da água não é livre devido às forças de enlace como a tensão superficial (Tabela 4.8);

Tabela 4.6 – Balanço hidrológico para diferentes usos do terreno (Kiely, G., 1999)

Autor	Local	Uso da terra	P (mm/ano)	ES (mm/ano)	EV (mm/ano)	Perdas (%)
Law 1956	UK	100% mato	984	273	711	72
Inst.Hidrology 1970	UK	22% mato	1496	555	953	64
Inst.Hidrology 1970	UK	70% mato	1544	1049	495	32
Law 1956	UK	Pastos	1135	717	421	37
Bishop 1991	Scotland	Pastos	2200	1740	460	21
Shuttleworth 1988	Amazônia	100% mato	2593	-	1393	53
Kirby et al. 1991	Austrália	68% mato	2620	1820	770	30
Fahey, Watson	New Zel.	Pastos	1150	500	650	57

- *Coefficiente de armazenamento (CA)*, expressa o volume de água que um aquífero acumula por unidade de superfície e por unidade de variação da altura piezométrica. Segundo Davis e Cronwell (1991), este valor varia de 10^{-3} a 10^{-5} para aquíferos confinados e de 10^{-2} a 0.35 para aquíferos livres, expressos em m^3 de água/ m^3 de aquífero.
- *Gradiente hidráulico (dh/dx)*, é a pendente da linha da superfície piezométrica em m/m;
- *Condutividade hidráulica (K)*, é a média da capacidade do meio rochoso ou solo para permitir a passagem da água expressa em m/s (Tabela 4.8);
- *Transmissibilidade (T)*, é a velocidade de escoamento por unidade de largura do aquífero expresso em m^2/s , cuja expressão matemática é $T = Kb$, onde b é a espessura (altura) do aquífero e K é a condutividade hidráulica (m/s).

Tabela 4.7 – Coeficiente de escoamento para diferentes superfícies (Kiely, G., 1999)

Descrição da área	C _e	Descrição da área	C _e
Ruas	0.7 – 0.9	Estradas	0.75 – 0.85
Zonas arenosa com pastos com pendente: <2%	0.05 – 0.1	Zonas argilosa com pastos com pendente: <2%	0.13 – 0.17
2-7%	0.1 – 0.15	2-7%	0.18 – 0.22
>7%	0.15 – 0.2	>7%	0.23 – 0.35
Zona industrial ligeira	0.78 – 0.95	Zona industrial pesada	0.50 – 0.80
Zona de vivendas	0.50 – 0.70	Zona vivendas uni familiares	0.25 – 0.40

Tabela 4.8 – Produção específica e porosidade de alguns materiais (adaptado de Jhpson, A. I., 1967)

Material	Porosidade (%)	Produção específica PE (%)	Condutividade hidráulica K (m/s)
Argila	36 – 60	3	$10^{-11} - 10^{-9}$
Arenito	5 – 30	5	$10^{-10} - 10^{-6}$
Calcário	5 – 50	2	$10^{-6} - 10^{-2}$
Xisto	0 – 10	3	$10^{-13} - 10^{-9}$
Basalto	3 – 35	-	$10^{-10} - 10^{-5}$
Depósito glacial	32	16	$10^{-12} - 10^{-6}$

4.3.2. Escoamento da água subterrânea

O escoamento em aquíferos é tridimensional, mas quando o gradiente hidráulico é predominantemente unidimensional o escoamento tende a ser unidimensional. A lei de Darcy para escoamento de águas subterrâneas está expressa pela equação (4.7), onde Q_s é o caudal de água (m^3/s), K é condutividade hidráulica (m/s), A é área da secção transversal do aquífero (m^2), $h_2 - h_1$ é a queda de pressão (m), $l_2 - l_1$ distância horizontal entre h_2 e h_1 (m) (fig. 4.9).

$$Q_s = -KA \left(\frac{dh}{dx} \right) = KA \left(\frac{h_2 - h_1}{l_2 - l_1} \right) \quad (4.7)$$

O caudal de água por bombagem em aquífero confinado fig. 4.10.a e aquífero livre fig. 4.10.b é determinado mediante a equação (4.8) e (4.9), respectivamente.

$$Q_b = 2\pi kb \left(\frac{h - h_b}{Ln(r/r_b)} \right) \quad (4.8)$$

$$Q_b = \pi k \left(\frac{h^2 - h_b^2}{Ln(r/r_b)} \right) \quad (4.9)$$

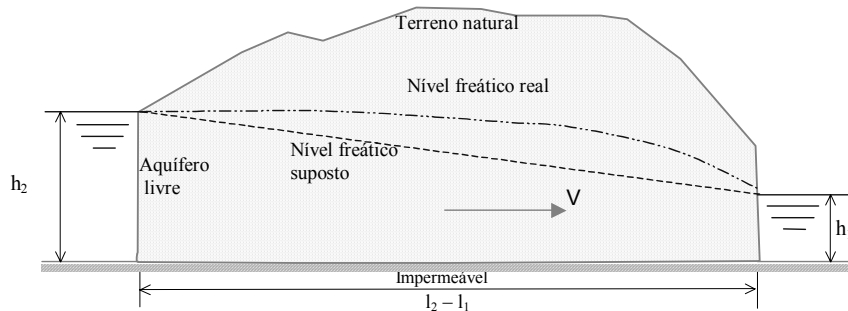


Figura 4.9 – Esquema do escoamento da água subterrânea

Em aberturas subterrâneas já existentes é recomendável realizar medições do caudal nos locais respectivos utilizando qualquer dos métodos indicados a seguir:

- Instalação de vertedores (ou canais Parshall) para valetas ou canais abertos ou parcialmente cheios;
- Método de enchimento dum recipiente com volume conhecido, controlando o tempo, recomendável para caudais pequenos ou intermitentes;
- Caudal estimado a partir das características do sistema de bombagem;
- Cronometragem do percurso dum objecto flutuante entre dois pontos fixos para determinar a velocidade superficial, já que a velocidade real para escoamento laminar é aproximadamente igual a 0.8 da velocidade superficial. Neste método é necessário conhecer a secção húmida na valeta de drenagem.

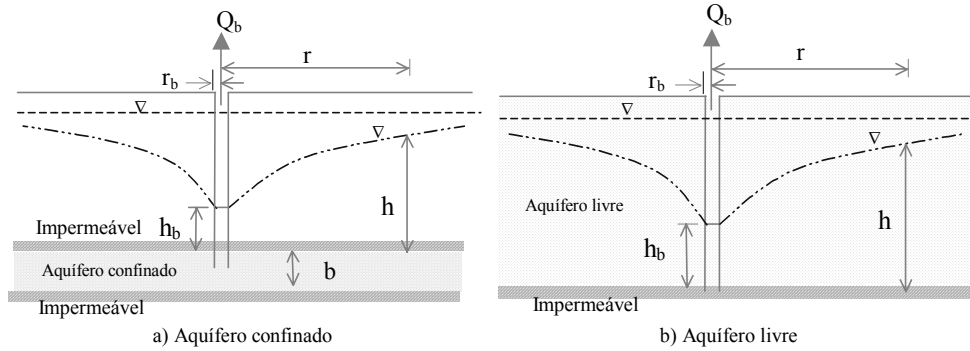


Figura 4.10 – Escoamento da água em aquíferos no regime estacionário

O processo de medição do caudal da água subterrânea nas aberturas existentes deve ter pelo menos uma estação por cada afluyente (galeria ou rampa secundária) à galeria ou rampa de drenagem principal e necessariamente na saída à superfície do nível de drenagem (túnel ou galeria) tal como se ilustra na fig. 4.11. Estas estações podem ser utilizadas também para a colheita com fins de caracterização da qualidade da água.

Este procedimento permite caracterizar frentes e áreas dos trabalhos subterrâneos com um determinado caudal de água subterrânea e correlacionar com a litologia e fracturas ou falhas existentes no maciço rochoso.

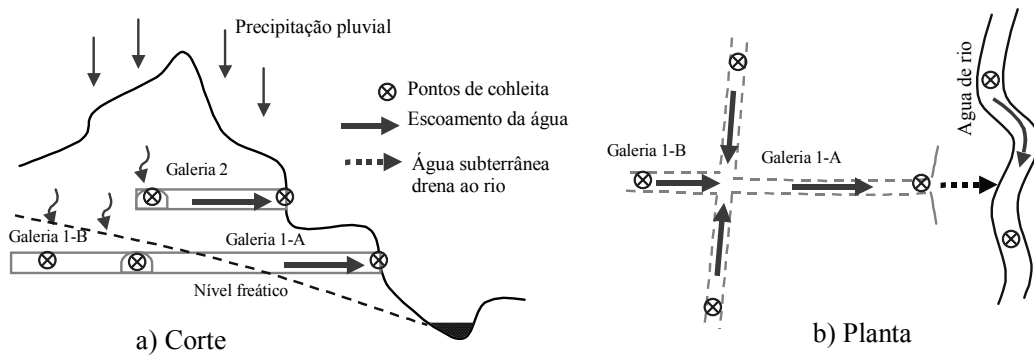


Figura 4.11 – Esquema das estações de medição e colheita de água subterrânea na etapa de caracterização

4.3.3. Drenagem ácida da água

A fim de procurar as medidas correctivas do impacte ambiental por drenagem ácida da água é importante avaliar os factores que controlam a velocidade e magnitude da geração da acidez, os processos químicos e reagentes intervenientes (fig. 4.12).

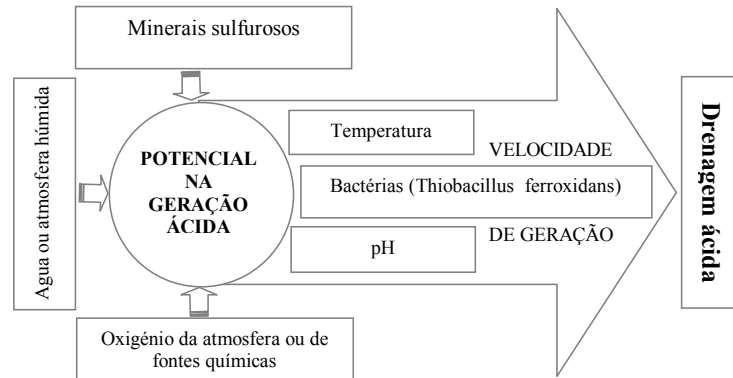


Figura 4.12 – Componentes potenciais para a geração de ácidos e factores que controlam a velocidade

As reacções na produção do ácido expressam-se geralmente como a oxidação da pirrite em sequência (fig. 4.13) embora a pirrotite e marcassite também sejam considerados como fontes da drenagem ácida.

Todos os minerais sulfurosos têm potencial de oxidação e lixiviação de metais. Portanto, alguns minerais com associação de ferro (calcopirite, enargite, galena, esfalerite e arsenopirite), podem gerar a acidez e metais dissolvidos na água, pela acção do sulfureto de ferro.

Na sequência (2) da reacção da pirrite, a velocidade de produção do ferro férrico (Fe^{3+}) controla o processo total de oxidação, mas por catálise biológica esta reacção é muito rápida (*Thiobacillus ferrooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans* e *Sulfolobus*).

A velocidade da oxidação bacteriana é função da temperatura, do pH (fig. 4.14), da disponibilidade do oxigénio, do dióxido de carbono e dos nutrientes (N_2 , P) e da área superficial do mineral sulfuroso exposto.

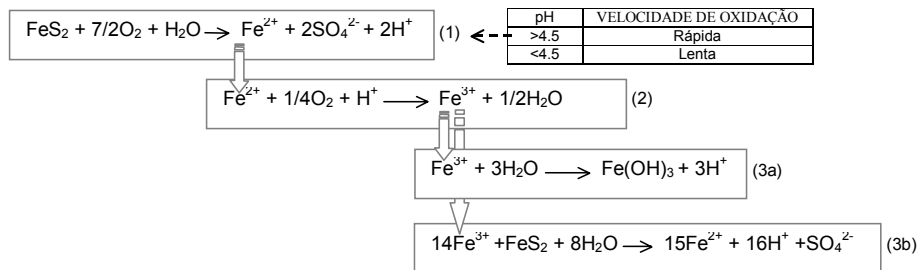


Figura 4.13 – Seqüência da reacção de oxidação da pirita na drenagem ácida

Em termos gerais a velocidade de oxidação, quer química quer biológica, aumenta com o acréscimo da temperatura, portanto uma oxidação contínua pode criar condições favoráveis para o incremento das bactérias oxidantes. A produção de H^+ e a consequente diminuição do pH até um nível adequado para as bactérias que oxidam o sulfato e ferro, a produção de Fe^{3+} e o aumento de temperatura devido ao processo exotérmico, oferecem condições ideais para a acção das bactérias.

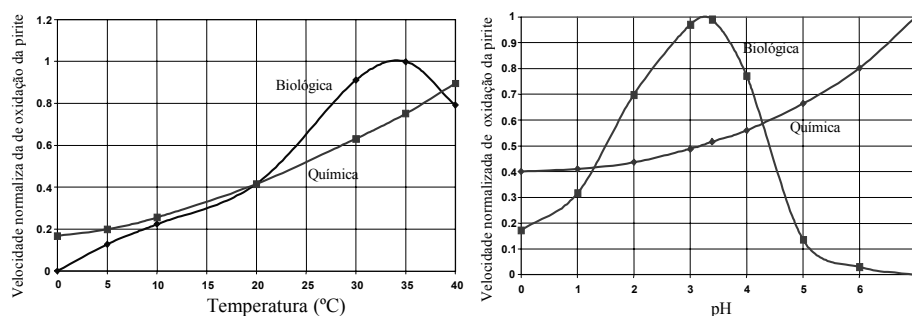
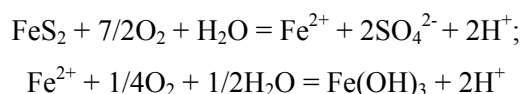


Figura 4.14 – Efeito da temperatura e pH sobre a velocidade de oxidação química e biológica da pirite (Summers, L., *et al*, 1999)

A quantidade de acidez que se pode liberar da oxidação de mineral sulfuroso determina-se a partir das equações mostradas na fig. 4.13. Por exemplo a oxidação de 1 mol de pirite produz 4 moles de acidez ($4H^+$) que é expressa das equações seguintes:



No processo de lixiviação, a solubilidade de muitos metais aumenta na medida que o pH diminui abaixo de 7, e quando o pH aumenta alguns dos metais em solução podem precipitar. Em alguns casos a drenagem contaminada também serve como lixiviante, promovendo a dissolução dos minerais oxidados que podem ser inertes ou de baixa solubilidade.

Em aberturas subterrâneas já existentes, como no caso de minas em operação, na etapa da caracterização da qualidade da água é recomendável realizar ensaios *in situ* e colheita sistemática nas aberturas subterrâneas e também a montante e a jusante da água superficial da bacia para onde se drena a água de mina (ribeira, rio, lago ou mar) (fig. 4.11).

Os principais poluentes relacionados com a drenagem de água subterrânea são os sólidos em suspensão, o nível de acidez, concentração de partículas e metais. Podem constituir também poluentes, os lubrificantes e gasóleo utilizados pelos equipamentos.

Para o processo de colheita é conveniente tomar medidas de precaução contra a contaminação de amostras, seleccionando os recipientes apropriados, lavando-os e manipulando adequadamente, em concordância a os padrões recomendados, como por exemplo da EPA dos E.U.A.(Tabela 4.9).

O volume de amostra para a análise de diferentes parâmetros pode variar segundo os laboratórios mas, em termos gerais, de cada estação de colheita serão suficientes três recipientes (Tabela 4.9), que devem ter sido lavados com ácido.

Tabela 4.9 - Volume, condição, objectivos da análise e tempo de armazenamento de amostras de água (baseado em EPA E.U.A., 1993)

Recipiente (litros)	Condição da amostra	Objectivo da análise	Tempo de armazenamento máximo
1	Não filtrada, não preservada	Parâmetros físicos e iões principais	24 horas
½	Não filtrada, não preservada	Metais totais e sólidos totais dissolvidos	6 meses
½	Filtrada e preservada	Metais dissolvidos	6 meses

As amostras podem ser simples ou compostas. As *amostras simples* usam-se quando o caudal de água é algo constante ou intermitente e quando as amostras compostas podem ocultar algumas das condições extremas (pH, temperatura). As *amostras compostas* são aquelas formadas por amostras individuais tomadas em diferentes momentos, neste caso o volume de cada amostra individual (V_i) por unidade de caudal instantâneo no momento em que a amostra i é tomada (Q_i) está expresso pela equação (4.10), onde V é o volume total da amostra composta, n é número de amostras a misturar e Q_m é o caudal médio.

$$\frac{V_i}{Q_i} = \frac{V}{nQ_m} \quad (4.10)$$

Para medições *in situ* existem sondas, manuais ou portáteis, que determinam o pH, temperatura, condutividade, oxigénio dissolvido, o grau de limpidez e o sulfato.

4.4. Padrões e normas sobre a qualidade da água

4.4.1. Capacidade do sistema de bombagem como padrão de referência

Para identificar o risco ambiental subterrâneo devido à quantidade de água, pode-se tomar como referência o caudal potencial de água que pode gerar uma inundação, a falta duma medida de controle adequado e oportuno. Portanto, o caudal referencial para a determinação dos níveis do risco ambiental tem relação com a capacidade máxima da estação de bombagem num local determinado $Q_{máx}$ (m^3/s ou l/s) e o caudal potencial de água presente no local indicado Q (m^3/s ou l/s), que, com sua variação por causas operacionais ou abatimentos do maciço rochosos provocado pelas escavações pode gerar risco de inundação.

4.4.2. Padrões e normas de qualidade de águas subterrâneas

Os padrões de qualidade das águas subterrâneas são referidos aos efeitos que poderiam produzir como efluente ambiental ou quando a sua descarga é feita em águas superficiais, portanto os padrões estão relacionados ao tipo de uso a serem destinadas estas águas.

Na União Europeia tem-se estabelecido os níveis máximos permissíveis para consumo humano mediante a Directiva do Conselho n.º 75/440/CEE de 16-06-1975

(Tabela 4.10). Esta directiva é relativa aos requisitos a que deve satisfazer, após a aplicação dos tratamentos apropriados, a qualidade das águas doces superficiais utilizadas, ou destinadas a produção de água potável. As águas subterrâneas, as águas salobras e as águas destinadas ao reabastecimento das toalhas subterrâneas não são abrangidas pela directiva referida.

As normas de qualidade aplicáveis às águas piscícolas (Decreto Lei 236/98 de Portugal) são fixadas com base nos parâmetros físico-químicos e biológicos que, a fim de permitir a vida e o crescimento de peixes (salmonídeos, ciprinídeos), contribui para a boa qualidade dos produtos passíveis de consumo pelo homem (Tabela 4.11).

Tabela 4.10 – Padrões de águas doces superficiais destinados à produção de água para consumo humano (Directiva do Conselho n.º 75/440/CEE de 16-06-1975) (disponível em http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/txt_ln_18745_1_0001.htm)

No	Parâmetros	A1 G	A1 I	A2 G	A2 I	A3 G	A3 I
1	PH	6.5-8.5		5.5-9		5.5-9	
2	Cor (depois de filtração simples) mg/l escala Pt	10	20(O)	50	100(O)	50	200(O)
3	Matérias totais em suspensão mg/l	25					
4	Temperatura °C	22	25(O)	22	25(O)	22	25(O)
5	Condutividade µs/cm-1 a 20 °C	1000		1000		1000	
6	Cheiro (factor de diluição a 25 °C)	3		10		20	
7	Nitratos mg/l NO ₃	25	50(O)		50(O)		50(O)
8 ¹	Fluoretos mg/l F	0.1/1	1.5	0.7/1.5		0.7/1.7	
9	Ferro dissolvido mg/l Fe	0.1	0.3	1	2	1	
10	Manganés mg/l Mn	0.05		0.1		1	
11	Cobre mg/l Cu	0.02	0.05(O)	0.05		1	
12	Zinco mg/l Zn	0.5	3	1	5	1	5
13	Boro mg/l B	1		1		1	
14	Arsénio mg/l As	0.01		0.05	0.05	0.05	0.1
15	Cádmio mg/l Cd	0.001	0.005	0.001	0.005	0.001	0.005
16	Crómio total mg/l Cr		0.05		0.05		0.05
17	Chumbo mg/l Pb		0.05		0.05		0.05
18	Selénio mg/l Se		0.01		0.01		0.01
19	Mercurio mg/l Hg	0.0005	0.001	0.0005	0.001	0.0005	0.001
20	Bário mg/l Ba		0.01		1		1
21	Cianeto mg/l Cn		0.05		0.05		0.05
22	Agentes de superfície (que reagem ao azul metileno) mg/l (lauril-sulfato)	0.2		0.2		0.5	
23	Fosfatos mg/l P ₂ O ₅	0.4		0.7		0.7	
24 ²	Fenóis (índice de fenóis) para-nitro- nilina 4-aminoantipirina mg/l C ₆ H ₅ OH		0.001	0.001	0.005	0.01	0.1
25	Hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados (após extração por eter de petróleo) mg/l		0.05		0.2	0.5	1
	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos mg/l		0.0002		0.0002		0.001
26	Pesticidas totais (paratião, HSH, dieldrina) mg/l		0.001		0.0025		0.005
27	Taxa de saturação de oxigénio dissolvido %O ₂	>70		>50		>30	
28	Oxidabilidade bioquímica (OBQ) a 20 °C sem nitrificação mg/l O ₂	<3		<5		<7	
29	Azoto Kjeldahl (NO ₃ excluído) mg/l N	1		2		3	
30	Amoníaco mg/l NH ₄	0.05		1	1.5	2	4(O)
31	Coliformes totais 37 °C / 100 ml	50		5000		50000	
32	Coliformes fecais / 100 ml	20		2000		20000	
33	Estreptococos fecais salmonelas / 100 ml	20		1000		10000	
I= Imperativo G= guia (O)= condições climáticas, ou geográficas excepcionais		1 = Os valores indicados constituem os limites superiores determinados em função da temperatura média anual (temperatura alta e baixa) 2 = Este parâmetro é incluído para satisfazer as exigências ecológicas de certos meios					

A União Europeia definiu mediante a Directiva do Conselho n.º 79/923/CEE de 30-10-1979 com respeito à qualidade das águas conquícolas e é aplicável às águas do

litoral e às águas salobras que tenham sido consideradas pelos Estados membros como águas que necessitam ser protegidas ou melhoradas a fim de permitir a vida e o crescimento de moluscos (moluscos bivalves e gastrópodes) e contribuir, assim, para a boa qualidade dos produtos conculícolas que podem ser directamente consumidos pelo homem.

Tabela 4.11 – Padrões de valor máximo admissível (VMA) de águas piscícolas Decreto-lei n.º 236/98 (disponível em http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/txt_ln_18745_1_0001.htm)

Parâmetros S	Água de salmonídeos (VMA)	Água de Ciprinídeos (VMA)
Fonte térmica (jusante) (°C)	$\nabla T < 1.5$ da temperatura natural	$\nabla T < 3$ da temperatura natural
pH	$50\% \geq 9, 100\% > 7$	$50\% \geq 7$
Sólidos suspensos (mg/l)	6 – 9	6 – 9
Nitrito (mg/NO ₂)	25	25
Amoníaco não ionizado (mg/l)	0.01	0.03
NH ₃	0.025	0.025
Azoto amoniacal (mg/l NH ₄)	1	1
Cl resid. Disp. total (mg/l HOCl)	0.005	0.005
Zinco total (mg/l Zn)	0.3	1.0
Cobre solúvel (mg/l Cu)	0.4	0.04

Mediante a Directiva do Conselho n.º 80/778/CEE de 15-07-1980 a EU define os valores máximos admissíveis (qualidade de água) destinados ao consumo humano.

Estas directivas estabelecem que os estados membros da EU adoptem estas normas da qualidade dentro da sua norma respectiva.

A norma de qualidade das águas de rega (Decreto Lei 236/98 de Portugal) visa proteger a saúde pública, a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, as culturas que podem ser afectadas pela má qualidade das águas de rega e os solos cuja aptidão para a agricultura pode ser degradada pelo uso sistemático de águas de má qualidade para rega (Tabela 4.12).

Tabela 4.12 – Padrões de valor máximo admissível (VMA) de águas destinadas à rega expressos em mg/l (Decreto-lei n.º 236/98, disponível em http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/txt_ln_18745_1_0001.htm)

Parâmetro S	VMA	Parâmetro S	VMA
Alumínio (Al)	20	Arsénico (As)	10
Berílio (Be)	1.0	Boro (B)	3.75
Cádmio (Cd)	0.05	Chumbo (Pb)	20
Cobalto (Co)	10	Cobre (Cu)	5.0
Crómio (Cr)	20	Flúor (F)	15
Lítio (Li)	5.8	Manganés (Mn)	10
Molibdénio (Mo)	0.05	Níquel (Ni)	2.0
Selénio (Se)	0.05	Vanádio (V)	1.0
Zinco (Zn)	10	pH	4.5-9.0

No caso de Portugal o Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, contempla valores limite admissíveis (VLA) de águas doces para fins aquícolas, águas piscícolas (águas de salmonídeos e águas de ciprinídeos), para um pH de 6.9 com variação de ± 0.5 na escala de Sorensen, amoníaco não ionizado de 0.025 mg/l NH₃, cloro residual disponível total 0.005 mg/l HOCL. Para salmonídeos e ciprinídeos respectivamente, os valores são de oxigénio dissolvido 50% ≥ 9 e 50% ≥ 7 , de zinco total 3.0 e 1.0 mg/l.

A *Association for Environmental Health and Ciencias* dos E.U.A. apresenta um resumo dos padrões de níveis máximos permissíveis considerados por EPA para a poluição mediante produtos hidrocarbonetos (Tabela 4.13) para acções de medidas correctivas.

A *National Primary Drinking Water Regulations* dos E.U.A. considera os níveis máximos admissíveis (Tabela 4.14) para componentes inorgânicos.

O Banco Mundial mediante a INTERIM (*Environment, Health and Safety Guidelines Mining and Milling - Underground*) estabelece a norma de qualidade para os efluentes líquidos descarregados nas águas de superfície procedentes dos rejeitados, da *drenagem de mina*, das bacias do sedimentação, dos sistemas dos esgotos e da drenagem de aluviões (Tabela 4.15). Não se aplicam para regulamentar a descarga dos rejeitados ao ambiente marinho.

Tabela 4.13 – Níveis máximos permissíveis para hidrocarbonetos poluentes de água subterrânea em Pensilvânia E.U.A.
(disponível em <http://www.aehs.com/surveys/groundwater/2001/pa.htm>)

Produto	Componente	Laboratório, Teste e Protocolo	Padrão
Gasolina sem chumbo	<i>Benzeno</i>	EPA 5030B/8260B or 524.2	5 µg/l
	<i>Tolueno</i>	EPA 5030B/8260B or 524.2	1000 µg/l
	<i>Etil benzeno</i>	EPA 5030B/8260B or 524.2	700 µg/l
	<i>Xylenes</i>	EPA 5030B/8260B or 524.2	10000 µg/l
	<i>Cumene</i>	EPA 5030B/8260B or 524.2	1100 µg/l
	<i>MTBE</i>	EPA 5030B/8260B or 524.2	20 µg/l
	<i>Naftaleno</i>	EPA 5030B/8260B or 524.2	100 µg/l
Querosene, óleo diesel no. 1	<i>Benzeno</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	5 µg/l
	<i>Tolueno</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	1000 µg/l
	<i>Ethylbenzeno</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	700 µg/l
	<i>Cumene</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	1100 µg/l
	<i>Naftaleno</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	20 µg/l
	<i>Fluoreno</i>	EPA 8270C, 8310 or 525.2	1500 µg/l
Querosene, óleo diesel no. 2	<i>Benzeno</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	5 µg/l
	<i>Tolueno</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	1000 µg/l
	<i>Ethylbenzeno</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	700 µg/l
	<i>Cumene</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	1100 µg/l
	<i>Naftaleno</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	100 µg/l
	<i>Fluoreno</i>	EPA 8270C, 8310 or 525.2	1500 µg/l
	<i>Phenanthrene</i>	EPA 8270C, 8310 or 525.2	1100 µg/l

Tabela 4.13 (cont.)– Níveis máximos permissíveis para hidrocarbonetos poluentes de água subterrânea em Pensilvânia E.U.A. (disponível em <http://www.aehs.com/surveys/groundwater/2001/pa.htm>)

Produto	Componente	Laboratório, Teste e Protocolo	Padrão
Óleo diesel nº 4,5,6, Lubrificantes óleo & Fluidos	<i>Benzeno</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	5 µg/l
	<i>Naftaleno</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	100 µg/l
	<i>Phenanthrene</i>	EPA 8270C, 8310 or 525.2	1100 µg/l
	<i>Pyrene</i>	EPA 8270C, 8310 or 525.2	130 µg/l
	<i>Chrysene</i>	EPA 8270C, 8310 or 525.2	1.9 µg/l
Óleo usado pelo motor	<i>Benzeno</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	5 µg/l
	<i>Tolueno</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	1000 µg/l
	<i>Ethylbenzene</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	700 µg/l
	<i>Cumene</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	1100 µg/l
	<i>Naftaleno</i>	EPA 5030B/8021B, 5030B/8260B or 524.2	100 µg/l
	<i>Pyrene</i>	EPA 525.2	13 µg/l
	<i>Benzo (a) antraceno</i>	EPA 525.2	0.9 µg/l
	<i>Chrysene</i>	EPA 525.2	1.9 µg/l
	<i>Benzo (b) fluoranthene</i>	EPA 525.2	0.9 µg/l
	<i>Benzo (a) pyrene</i>	EPA 525.2	0.2 µg/l
	<i>Indeno(1,2,3-cd)pyrene</i>	EPA 525.2	0.9 µg/l
	<i>Benzo (g,h,i)perylene</i>	EPA 525.2	0.26 µg/l
	<i>Chumbo (dissolvido)</i>	EPA 6020 or 7421	5 µg/l

Tabela 4.14 – Níveis máximos permissíveis para água de consumo humano nos E.U.A. (Maximum Contaminant Level, MCL, <http://www.epa.gov/safewater/mcl.html>)

Componente inorgânico	MCL (mg/l)	Componente inorgânico	MCL (mg/l)	Componente inorgânico	MCL (mg/l)
Antimônio	0.006	Mercúrio (inorgânico)	0.002	Cádmio	0.005
Arsênio	0	Nitrato (medido como Nitrogênio)	10	Cromo (total)	0.1
Asbesto (fibras > 10 µm)	7 milhões fibras/ litro	Nitrito (medido como Nitrogênio)	1	Cobre	1.3
Bário	2	Selênio	0.05	Chumbo	0.0
Berilo	0.004	Tálio	0.0005	Cianeto	0.2
				Fluoreto	4.0

Tabela 4.15 – Padrões de qualidade de efluentes líquidos de drenagem de minas segundo Banco Mundial (disponível em www.ifc.org/enviro/enviro/pollution/min_pit.pdf)

Poluente	VMA (mg/l)	Poluente	VMA (mg/l)
pH	6 a 9	Ferro, total	2
BODs*	50	Chumbo	0.6
Óleo e gordura	20	Mercúrio	0.002
Sólidos totais	50	Níquel	0.5
Arsênio	1	Zinco	1
Cádmio	0.1	Cianeto livre	0.1
Crômio exavalente	0.05	Cianeto, total	1
Crômio, total	1	Cobre	0.3
Temperatura no ponto de mistura do efluente com água receptora Máximo 3 °C acima da temperatura da água receptora. Máximo 3 °C se Temperatura da água receptora > 28 °C			
BODs : Biochemical oxygen demand			

4.5. Matriz base para a identificação do risco ambiental devido à alteração da água subterrânea

Baseado no caudal referencial definido pela capacidade máxima de bombagem para um local determinado $Q_{máx}$ (m^3/s ou l/s) e o caudal potencial de água presente no local indicado Q (m^3/s ou l/s) que pode gerar risco de inundação, elaborou-se a matriz (Tabela 4.16) que permite identificar o nível de impacto ambiental ocasionado pelo caudal de água subterrânea.

Tabela 4.16 – Matriz base para a identificação do nível de impacto ambiental subterrâneo devido ao caudal da água

Nível de impacto ambiental	Caudal de água no ambiente subterrâneo
Leve	$Q_{máx} \leq Q \leq 1.05Q_{máx}$
Moderado	$1.05Q_{máx} < Q \leq 1.1Q_{máx}$
Alto	$Q > 1.1Q_{máx}$

Com a base nos padrões de qualidade de águas indicados nas Tabelas 4.10 a 4.15 para fins de consumo humano, rega e piscícolas, elaborou-se a matriz base para a identificação do impacto ambiental ocasionado pela alteração da qualidade de águas subterrâneas (Tabela 4.17) tendo como indicadores o pH e o valor admissível da concentração de metais C_{VLA} em relação à concentração real ou existente C_r .

Tabela 4.17 – Matriz base para a avaliação do risco ambiental subterrâneo devido ao caudal e concentração de metais de água

Nível de risco	pH			Concentração de metais
	Rega	Cons. humano	Piscícola	
Leve	$4.5 \geq pH > 3.5$	$6.5 \geq pH > 5.5$	$6 \geq pH > 5$	$1.05C_{VLA} \geq C_r > C_{VLA}$
Moderado	$3.5 \geq pH > 2.5$	$5.5 \geq pH > 4.5$	$5 \geq pH > 4$	$1.10C_{VLA} \geq C_r > 1.05C_{VLA}$
Alto	$pH \leq 2.5$	$pH \leq 4.5$	$pH \leq 4$	$C_r > 1.10 C_{VLA}$

4.6. Medidas correctivas para o impacte ambiental em relação a água subterrânea

4.6.1. Para o impacte ambiental por efeito do caudal

O impacte ambiental por efeito do caudal de água nas escavações subterrâneas está relacionado com a inundação, cuja medida correctiva é a utilização dum sistema de bombagem, seja centrífuga (fig. 4.15.a) ou seja submersa (fig. 4.15.b).

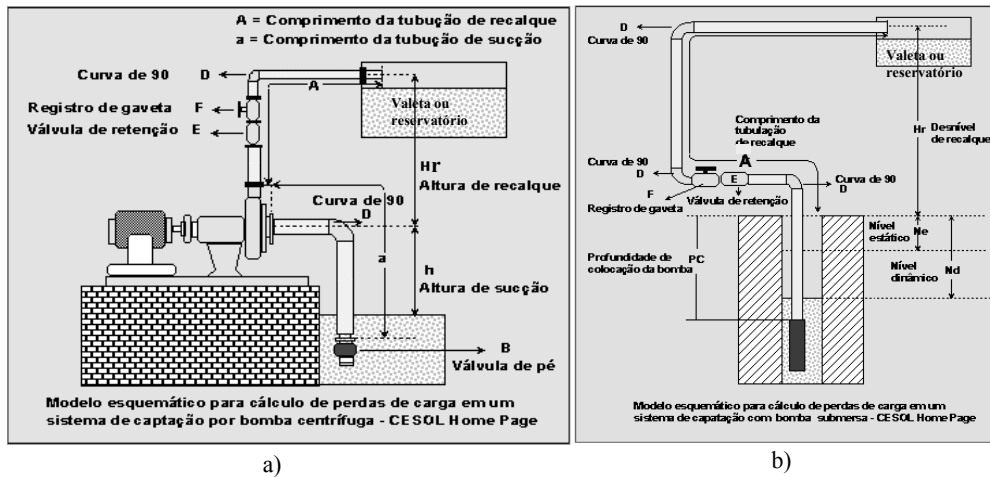


Figura 4.15 – Esquema do sistema de bombagem com bomba sucção/compressão a) e com bomba submersa b)

A procura das medidas correctivas consiste em determinar a altura manométrica total de bombagem e com o caudal de água caracterizado, dimensionar a potência do motor da bomba e seleccionar o equipamento adequado para o caso específico. É conveniente indicar que bombas do tipo centrífugo apresentam limitações extremas com relação à profundidade de sucção.

Para o cálculo da altura manométrica total AMT (m) num sistema utilizando bomba centrífuga, consideram-se as seguintes variáveis: o desnível de sucção h (m), o desnível de recalque H (m), perda por atrito nos tubos e recalque (Anexo 4.1), perda por atrito nas conexões (Anexos 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5) e caudal máximo anual de água subterrânea caracterizado num determinado local Q (l/s).

O modelo esquemático da fig. 4.15 mostra um sistema típico utilizando bomba centrífuga e submersa e os parâmetros a serem considerados para o cálculo da altura manométrica total. O número e tipo de conexões são variáveis, na prática, para cada situação específica.

Para o cálculo da altura manométrica total para bombas centrífugas AMT_c (m) utiliza-se a equação (4.11) onde a altura manométrica de sucção é AMS (m), a altura manométrica de recalque é AMR (m).

$$AMT_c = 1.1(AMS + AMR) \quad (4.11)$$

A altura manométrica de sucção AMS é determinada com a equação (4.12) onde as perdas por atrito na tubulação de sucção estão representadas por PAS (m), as perdas de pressão nas conexões de sucção por PSC (m) (Tabelas dos Anexos 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5) e altura de sucção mediante h (m).

$$AMS = PAS + PSC + h \quad (4.12)$$

A PAS é determinada em função do coeficiente de atrito C_a (%) (Tabela do Anexo 4.1) e comprimento da tubulação de sucção L_s (m) com a equação (4.13).

$$PAS = \frac{C_a L_s}{100} \quad (4.13)$$

A altura manométrica de recalque AMR (m) calcula-se pela equação (4.14) onde as perdas de carga por atrito na tubulação de recalque é PAR (m), perdas de pressão nas conexões no recalque é PCR (m) (Tabelas dos Anexos 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5) e altura de recalque e H_r (m).

$$AMR = PAR + PCR + H_r \quad (4.14)$$

A PAR é determinada em função do coeficiente de atrito C_a (%) (Tabela do Anexo 4.1) e comprimento da tubulação de sucção L_r (m) com a equação (4.15).

$$PAR = \frac{C_a L_r}{100} \quad (4.15)$$

A potência do sistema de bombagem calcula-se pela equação (4.16) considerada por Karassik, I. J., 1992, onde PB é a potência da bomba (Hp), Q é o caudal de água (l/s), AMT é a carga total (m), ρ é a massa volúmica da água (t/m^3) e E é o rendimento combinado do motor e da bomba (factor).

$$PB = \frac{Q \cdot AMT \cdot \rho}{76 \cdot E} \quad (4.16)$$

O modelo esquemático da fig. 4.15.b mostra um sistema típico utilizando bomba submersa e os parâmetros a serem considerados para o cálculo da altura manométrica total. O número e tipo de conexões são também variáveis, na prática, para cada situação específica.

Para este caso a altura manométrica total AMT_s (m) pode-se calcular com a equação (4.17), onde Nd é o nível dinâmico (m) e a altura manométrica de recalque AMR se calcula com a equação (4.14).

$$AMT_c = 1.1(AMR + Nd) \quad (4.17)$$

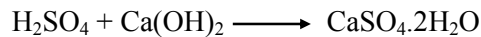
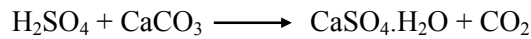
As perdas por atrito em tubulações e conexões são obtidas em tabelas específicas para cada diâmetro em particular. A potência do motor das bombas submersas também é calculada com a equação (4.16) dada para bombas centrífugas.

Com a altura manométrica total, caudal de água e a potência do motor calculada pode-se definir a bomba a instalar como medida correctiva. Outro procedimento técnico é utilizar as curvas características das bombas e seleccionar a bomba requerida. Em função

do requerimento as bombas podem ser instaladas em série ou em paralelo, dotando-se sempre uma de reserva (segurança) para cada bomba.

4.6.2. Para o impacto ambiental por efeito da drenagem ácida

a) *Neutralização da acidez da água*: o processo consiste na adição de um material alcalino, sendo o mais usado o calcário (CaCO_3) e cal propriamente dita (CaO ou $\text{Ca}(\text{OH})_2$), devido ao seu baixo custo e eficácia, embora outros reagentes como a soda cáustica (NaOH), cinza em pó (Na_2CO_3) e rejeitados alcalinos são também úteis em alguns casos. O processo químico de neutralização envolve as seguintes reações:



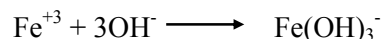
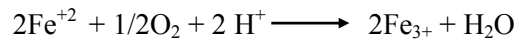
O primeiro produto obtido mediante este processo é o gesso como parte solúvel em água (2.1 g/l a 25°C) que forma parte do único sulfato em proporção de uns 2.1 g/l.

b) *Oxidação e precipitação*: a maior parte dos metais precipitam em forma de hidróxidos ou óxidos de metal hidratados e quando associados aos sulfuretos precipitam em forma de gesso. Espécies como As, Sb, P, V, Ti e Si precipitam como compostos com cálcio no caso de usar cal como neutralizante.

A efectividade no processo da precipitação é limitada pela solubilidade dos precipitantes e do pH do sistema. Em geral, as operações de precipitação da maioria dos metais são a um pH de 9 a 9.5.

O êxito ou fracasso no tratamento mediante este processo está na compreensão do processo químico e variáveis operacionais em relação ao consumo de cal, da energia, do volume de lamas e da qualidade de tratamento de afluente. A seguir apresenta-se o comportamento químico de alguns metais:

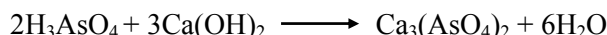
Ferro: está presente nas águas ácidas como ião ferroso (Fe^{+2}) ou férrico (Fe^{+3}). A precipitação do ião ferroso requer dum alto consumo de cal e conseqüentemente a formação de lodo que gera problemas de manipulação e a sua velocidade de oxidação é mais rápida que o ião férrico quando a solução é de pH neutral.



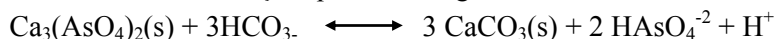
Manganês: os iões presentes são Mn^{+2} , Mn^{+3} e Mn^{+4} sendo que a precipitação de Mn^{+2} em solução aquosa produz o $\text{Mn}(\text{OH})_2$ a um pH sobre 10.5, ou então mediante a oxidação de Mn^{+2} de Mn^{+3} ou de Mn^{+4} precipitam em forma de $\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ou MnO_2 a um pH acima de 9.5. O Mn^{+2} é resistente à oxidação em condição neutral ou acida mas pode ser oxidado o Mn^{+3} ou Mn^{+4} em condição básica com oxidação de agentes como permanganato de potássio ou de cloro. Na hipótese de usar o sistema de reciclagem no tratamento o poluente no lodo é MnO_2 .

A completa oxidação do MnO_2 realiza-se com consumo baixo de cal e a produção de lamas é estável num meio com pH constante. Mediante este processo é difícil remover o manganês, pelo que o processo orgânico é o mais recomendável.

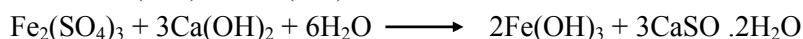
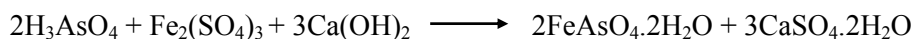
Arsénio: pode ser removido com cal em meio aquoso com $\text{pH} > 12$, mediante o processo químico seguinte:



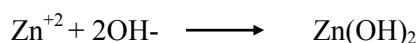
A solubilidade do arsenato de cálcio cresce dramaticamente quando o pH decresce e também em contacto com bióxido de carbono, mas o CaCO_3 actua como deprimente, como descreve a reacção química a seguir:



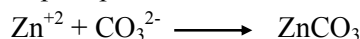
O processo da precipitação do arsenato férrico está expressa pela equação a seguir.



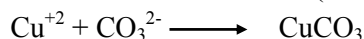
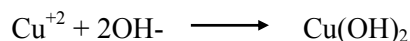
Zinco: pode precipitar como hidróxido consoante a equação química que mostra o processo:



Teoricamente o pH óptimo para precipitação do hidróxido de zinco é de 9.5. O zinco em solução pode também precipitar como carbonato.



Cobre: o pH teórico para precipitar o cobre em forma de hidróxido é próximo de 8.2, mas é suficiente com um pH de 7.0. Tal como que o zinco, o cobre pode precipitar em forma de carboneto ou hidróxido, mediante o processo químico para precipitação de hidróxido de cobre:



O processo de neutralização e precipitação mediante a utilização de meio alcalino (cal) pode-se observar na fig. 4.16 e fig. 4.17.

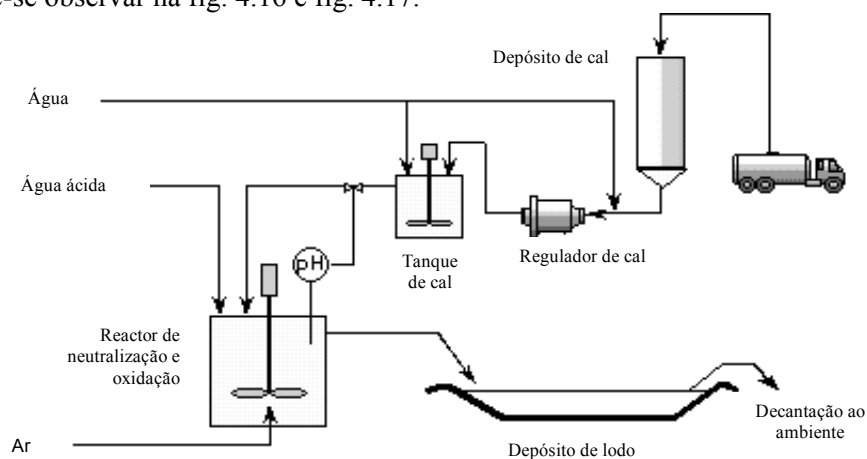


Figura 4.16 – Processo do tratamento de neutralização de água ácida com uso de cal

c) *Tratamento da acidez e poluentes metálicos dos efluentes com processo aeróbio e anaeróbio*: os processos aeróbios são organismos para os quais o oxigênio livre do ar é imprescindível à vida. Os anaeróbios, ao contrário, não requerem ar ou oxigênio livre para manter a vida.

O sistema anaeróbio utiliza material orgânico além de produzir a redução biológica do sulfato.

Frações orgânicas: os compostos biológicos em general contêm diferentes grupos funcionais, que produzem uma variedade de reacções com os iões metálicos em solução, diminuindo a sua concentração nos efluentes;

Redução biológica do sulfato: consiste em remover a acidez e produzir o sulfureto de hidrogênio, que dependendo do pH permite a formação de sulfuretos de metais insolúveis em forma de precipitado.

Pode-se afirmar que há uma grande actividade das bactérias sulfato reductoras (*Desulfovibrio sp*) que atenuam sobre o sulfato na água de mina, para produzir sulfureto de hidrogênio e bicarbonato.

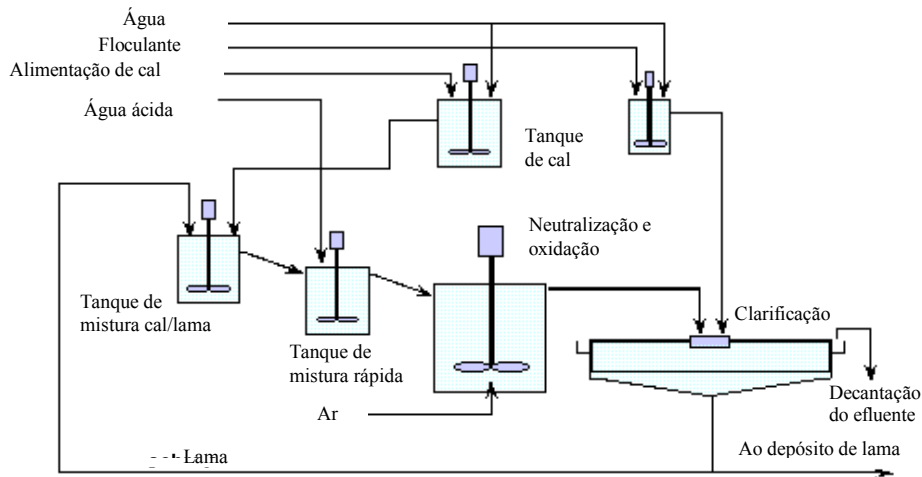
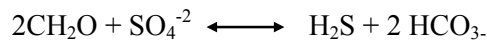
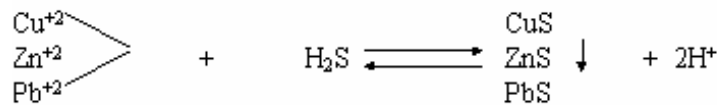
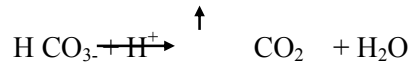


Figura 4.17 – Processo de precipitação de elementos metálicos de água ácida

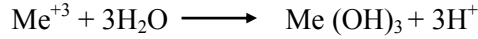
O sulfureto de hidrogênio (ou ácido sulfídrico) resultante reage com os metais pesados na água de mina, e se produz a precipitação deles como sulfuretos:



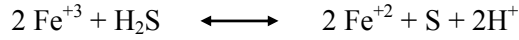
A reacção antes descrita ainda produz a acidez, mas a reacção redutora de sulfato produz mais alcalinidade (uma mole em excesso sobre a acidez produzida) e assim prevalecem as condiciones alcalinas.



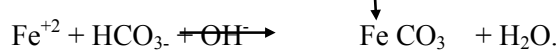
O acréscimo do pH do efluente em alguns metais possibilitam a formação do hidróxido ou óxido para em seguida precipitarem.



Além do processo indicado apresenta-se movimento do íon ferro:

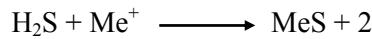
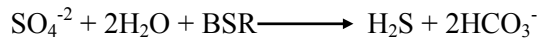


Finalmente, estabiliza-se precipitando como carbonato de ferro.



O ferro sempre se apresenta como Fe^{+3} e Fe^{+2} . O primeiro é controlado mediante um processo *aeróbio* por oxidação e como hidróxido a um $\text{pH} > 5.5$ e o segundo num processo *anaeróbio* por redução como sulfureto.

O processo de tratamento de águas ácidas de mina mediante sistemas passivos compreende desde a descarga de água ácida (efluente problema), neutralização, o depósito anaeróbio, o depósito anaeróbio e efluente final (fig. 4.18).



Onde, BSR = Bactérias Sulfato Redutoras (1×10^6 UFC/ml) e Me = Cu, Fe, Pb o Zn.

Com o calcário ocorrem as seguintes reações:

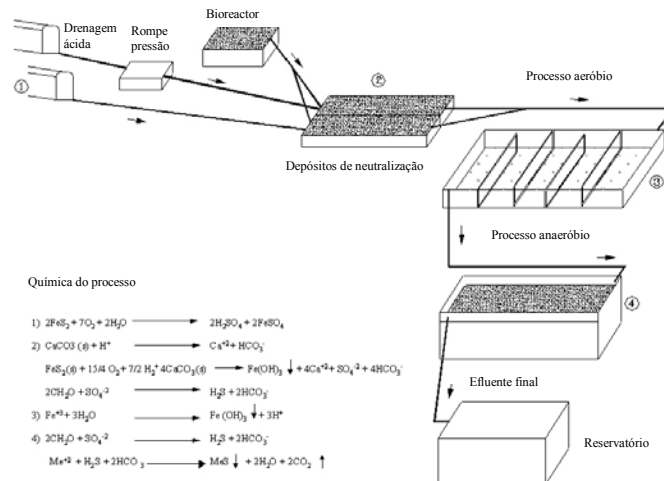
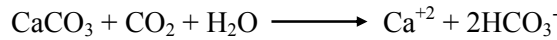
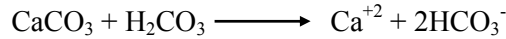
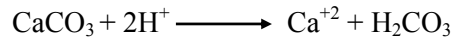
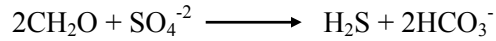


Figura 4.18 – Tratamento de águas ácidas mediante o sistema passivo

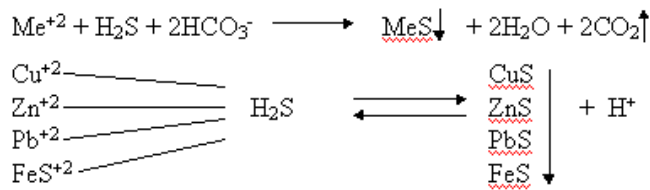
Na interação entre o composto e o líquido problema ocorre o seguinte:



Dependendo das condições químicas da água ácida, os componentes para este processo podem ser: 150 kg de serradura de madeira, 487 kg de estrume de ovelha, 345 kg de sedimento vegetal e 98 kg de areia classificada de rio.

As bactérias *tiobacillus ferroxidans*, que são as que originam o pH baixo dos efluentes de mina, com a conseqüente dissolução dos metais, são mitigadas pelas bactérias sulfato-redutoras do género *desulfovibrio*, *desulfotomaculum* e *desulfococus*, que habitam no composto incubado previamente em 21 dias no charco (*wetland*) anaeróbio.

Para a aplicação destes processos químicos e biológicos recomenda-se realizar experiências à escala piloto e depois à escala industrial.



Informação adicional relativamente ao tratamento passivo de águas ácidas pode-se encontrar na tese intitulada *Ambiente mineiro: tecnologias de diagnóstico, prevenção e tratamento passivo das águas ácidas contaminadas por minerais sulfurados* (Fidalgo de Matos, M.C, 2002).

4.7. Monitorização e controle

A monitorização tem dois objectivos: detectar o início da oxidação que pode conduzir à drenagem ácida e avaliar a efectividade da medida correctiva aplicada.

A monitorização da quantidade e qualidade da água subterrânea obedece a padrões ou normas determinadas. As estações de monitorização deverão estar localizadas em pontos estratégicos de modo que seja possível avaliar o nível de efectividade da medida correctiva, que permita conservar a qualidade ambiental.

A monitorização do caudal da água subterrânea é recomendável realizar em estações de medição localizadas em afluentes da rede de drenagem por gravidade no sentido da estação de bombagem e na saída ao exterior ou superfície principalmente.

Para o caso de monitorização da qualidade da água será basicamente na saída de água subterrânea à superfície e a montante e a jusante do rio, se a descarga é a um rio ou ribeira.

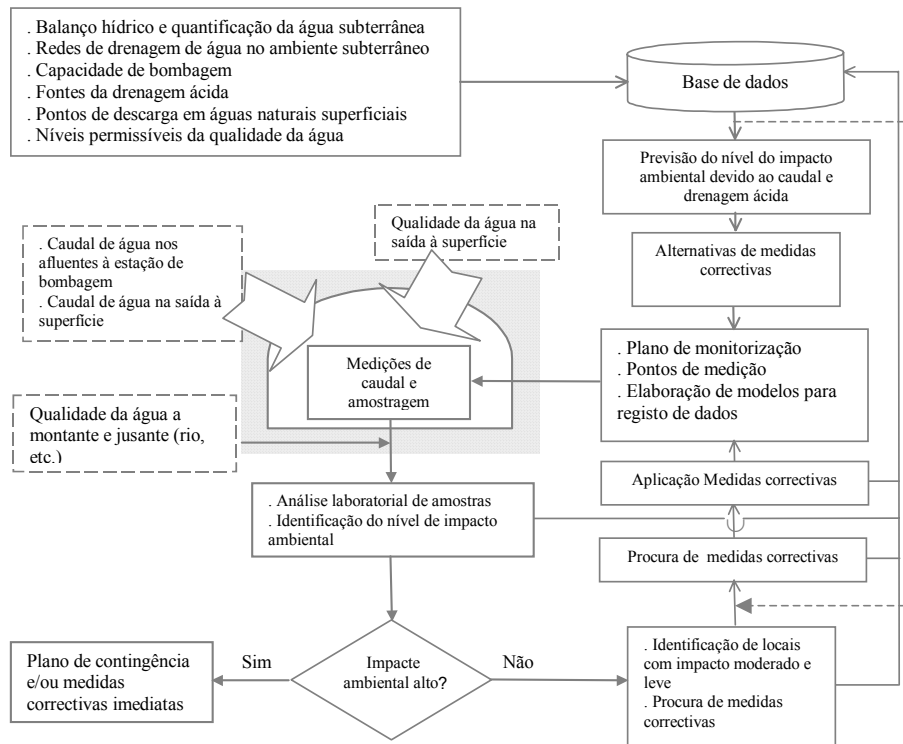


Figura 4.19 –Metodologia de gestão ambiental da água subterrânea

A engenharia do ambiente subterrâneo relacionada com águas subterrâneas considera uma sequência de acções (fig. 4.19) que permitam caracterizar as fontes de alterações das condições naturais das águas subterrâneas, identificar o nível de impacte ambiental, procurar alternativas de medidas correctivas, aplicar a medida correctiva mais viável e acompanhar com uma monitorização e controle, para verificar a efectividade das medidas aplicadas e desta forma garantir a efectiva protecção ambiental.

A frequência da monitorização deve ser semanal ou mensalmente e a monitorização adicional quando se apresentarem situações de mudança (degelos, fortes chuvas, mudança da carga do poluente, mudança no processo de exploração).

Capítulo 5

INSTABILIDADE E DESABAMENTO DE ROCHAS

5.1. Efeitos da instabilidade e desabamento de rochas

A abertura subterrânea resulta da escavação de rochas feita pelo homem, como objectivo de aproveitar o recurso natural (mineral) ou espaço do subsolo. Esta abertura produz alteração do estado natural de tensões do meio rochoso, com a possibilidade de originar desabamento ou queda de blocos, podendo causar efeitos ambientais negativos, problemas operacionais e até atentar a própria vida humana.

O desabamento e queda de blocos no ambiente subterrâneo constituem um risco ambiental, quer no subsolo quer no exterior. No exterior através das subsidências do terreno que atingem a superfície e no subsolo, por arriscar a vida humana (trabalhador) e afectar as operações de exploração.

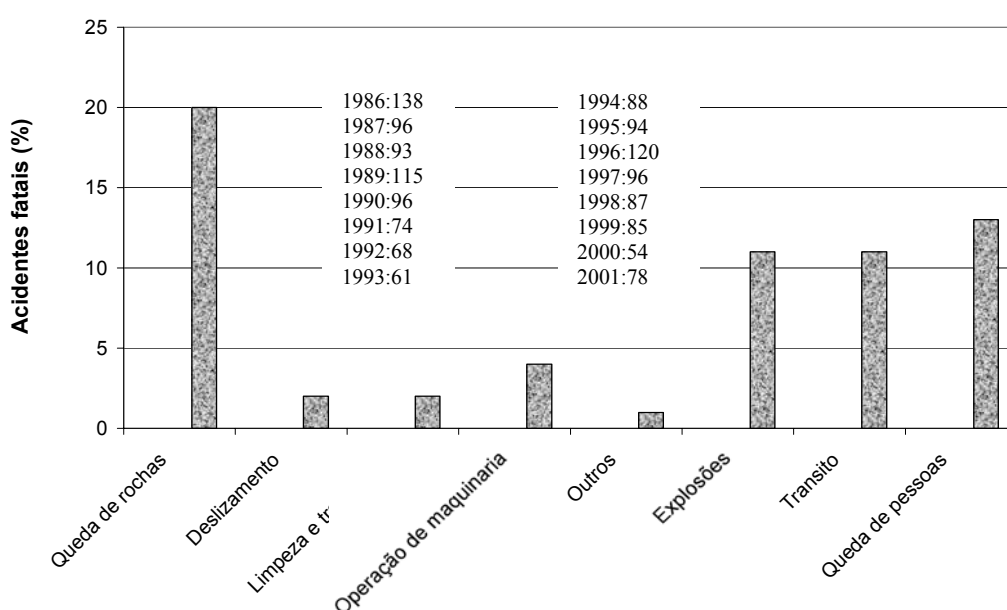


Figura 5.1 – Causas da perda de vidas humanas em minas subterrâneas do Peru (www.snmepe.org.pe, 2001)

Os efeitos do desabamento no ambiente subterrâneo, reflecte-se em:

- a) Ferimentos leves;
- b) Ferimentos que inabilitam o homem;
- c) Ferimentos mortais ou fatais.

Em trabalhos de exploração subterrânea, ocorrem com muita frequência os acidentes fatais, sendo a queda ou desabamento de rochas o factor mais importante. Como se mostra no caso das minas do Peru (fig. 5.1).

5.2. Causas da instabilidade e desabamento das rochas

A instabilidade e desabamento de rochas em escavações subterrâneas depende dos seguintes factores: Propriedades geomecânicas e geotécnicas do maciço rochoso circundante, forma e tamanho da abertura, profundidade a que se encontra e método construtivo utilizado.

Bieniawski, Z.T., (1992) indica que o desabamento ou queda de rochas em escavações subterrâneas é causado por:

1. Movimento de blocos de rocha causado pela acção da gravidade, pressão da água ou tensões *in situ*; e/ou
2. Sobrecarga da rocha intacta.

Hudson, J. A., *et al.* (1997) relaciona os factores que ocasionam o desabamento de rochas, mediante uma matriz de interacção (fig. 5.2) que considera: a estrutura do maciço rochoso; as tensões existentes; interacção maciço e suporte; a forma da aberturas; a influência da percolação da água; as falhas e alterações; a profundidade de localização da escavação; e o método construtivo.

Numa diagonal da matriz (fig. 5.2) estão os factores principais que originam a instabilidade e queda de rochas, sendo estes factores os seguintes:

- Estrutura do maciço rochoso, que compreende as características físicas e mecânicas da rocha *in situ* e suas características geomecânicas das discontinuidades;
- As tensões existentes no terreno antes de realizar a escavação;
- As condições hidrogeológicas ou de percolação de água no terreno;
- Forma da escavação e o método construtivo usado.

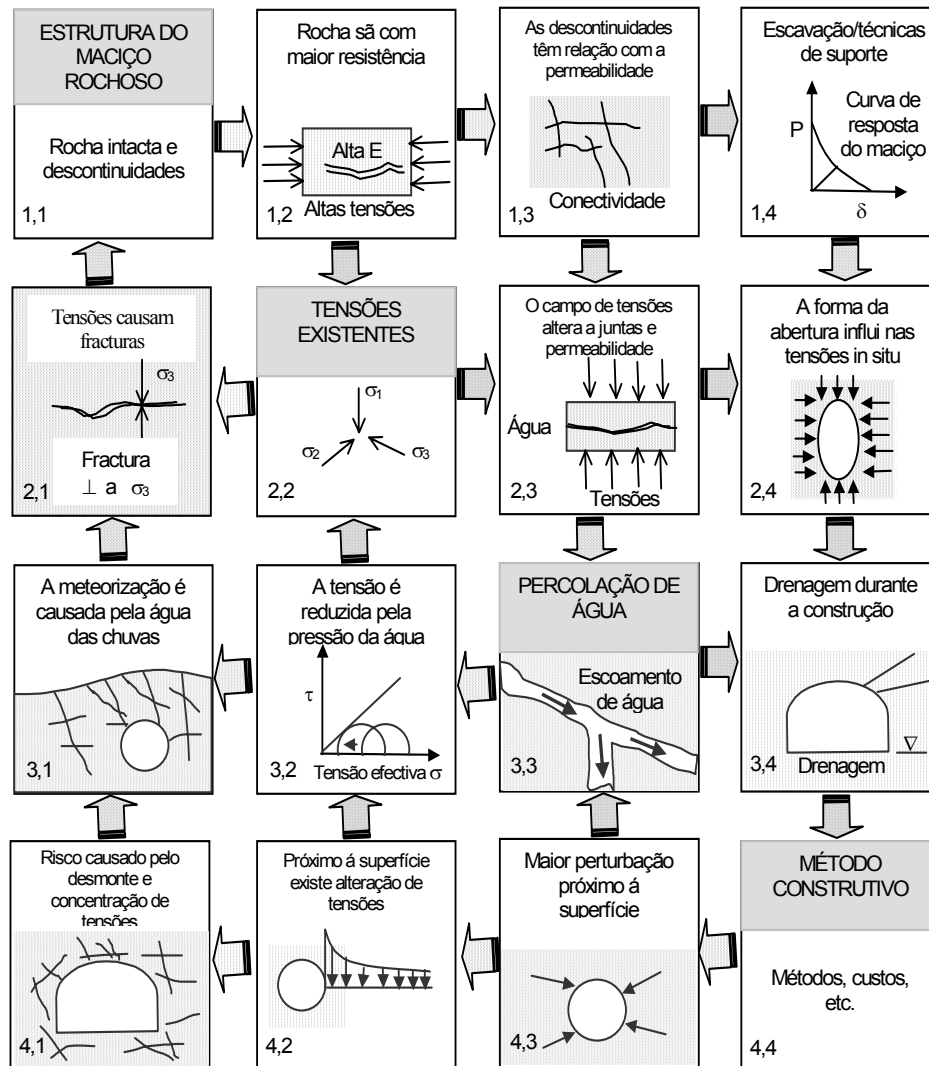


Figura 5.2 – Matriz de interação para aberturas subterrâneas (Hudson, J.A., et al., 1997)

5.3. Caracterização geotécnica das rochas hospedeiras da abertura subterrânea

A efectiva aplicação de medidas correctivas para os riscos ambientais devidos à instabilidade e queda de rochas é função do nível de identificação real dos parâmetros ou factores que provocam tal situação, que é realizada mediante estudos geológicos e geotécnicos.

5.3.1. Qualificação do maciço rochoso mediante índices

Um índice muito usado é o denominado *Rock Mass Ratio* (RMR) proposto por Bieniawski, Z.T. (1989) e utilizado para a qualificação e classificação das rochas, determinado mediante a expressão (5.1) que considera os parâmetros de resistência à compressão (1), o valor de RQD (*Rock Quality Designation*) e separação de diaclases (2 + 3), o estado das diaclases (4), o efeito das águas e a orientação da escavação (5), que pode avaliar mediante a Tabela 5.1. O índice RMR conduz à classificação do maciço rochoso em cinco categorias (Tabela 5.2).

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) \quad (5.1)$$

Outro índice muito usado é o *Q* (*Tunneling Quality Index*) proposto por Barton, N., *et al.*, (1980), determinado mediante a equação (5.2) onde, *RQD* é o *Rock Quality Designation* (Deere, D. U., 1964), J_n é o valor relacionado com as juntas, J_r é o valor de rugosidade, J_a é o valor função da alteração, J_w é o factor relacionado com a água, e *SRF* é o factor devido à condição da tensão. Todos os índices são determinados com base à Tabela 5.3 proposta por Barton.

$$Q = \left(\frac{RDQ}{J_n} \right) \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \left(\frac{J_w}{SRF} \right) \quad (5.2)$$

Tabela 5.1 – Parâmetros de qualificação do maciço rochoso (Bieniawski, Z. T., 1989)

RMR (1) Resistência à compressão simples da rocha intacta							
Valor (kg/cm ²)	>2500	1000-2500	500-1000	250-500	50-250	10-50	<10
Ponderação	15	12	7	4	2	1	0

RMR (2 + 3) RQD e separação de diaclases																
Juntas por metro	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ponderação	40	34	31	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
Juntas por metro		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Ponderação		17	16	15	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	9	9
Juntas por metro		3	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Ponderação		9	8	8	7	7	7	6	6	6	5	5	5	4	4	4

RMR (4) Estado das diaclases					
Resistência	<1	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	20 m
Ponderação	6	4	2	1	0
Abertura	0	< 0.1 mm	0.1 – 1 mm	1 – 5 mm	5 mm
Ponderação	6	5	4	1	0
Rugosidade	Muito rugoso	Rugoso	Ligeiramente rugoso	Liso	Espelho de falha
Ponderação	6	5	3	1	0
Recheio	Não há	Duro com espessura < 5 mm	Duro com espessura > 5 mm	Brando com espessura < 5 mm	Brando com espessura > 5 mm
Ponderação	6	5	4	1	0
Meteorização	Não afectado	Ligeiro	Moderado	Alto	Descomposto
Ponderação	6	5	3	2	0

RMR (5) Efeito da água					
Estado	Seco	Lig. húmido	Húmido	Pingando	Escoamento
Ponderação	15	10	7	4	0

RMR (5) Correlação segundo a orientação da escavação subterrânea e as descontinuidades						
Direcção perpendicular ao eixo da escavação				Direcção paralela ao eixo da escavação		Pendor 0° - 20° qualquer direcção
Escavação ao pendor		Escavação contra o pendor				
Pendor 45° - 90°	Pendor 20° - 45°	Pendor 45° - 90°	Pendor 20° - 45°	Pendor 45° - 90°	Pendor 20° - 45°	
Muito favorável	Favorável	Média	Desfavorável	Muito desfavorável	Média	Média
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

A correlação entre o índice Q e a dimensão equivalente (D_e) expressa pela equação de Barton (5.3) é ilustrada pela fig. 5.3, onde se vê a curva crítica (D_{ec}) e sua respectiva equação, que define a necessidade ou não de suporte para uma determinada qualidade de rocha Q e tamanho da abertura, expresso como dimensão equivalente (D_e).

$$D_e = \frac{L}{ESR} \quad (5.3)$$

Tabela 5.2 – Categorias do maciço rochoso segundo o índice RMR (Bieniawski, Z. T., 1989)

RMR	Categoria	Estado da rocha
81 - 100	I	Muito boa
61 - 80	II	Boa
41 - 60	III	Média
20 - 40	IV	Má
< 20	V	Muito má

Na equação (5.3) L é a largura, diâmetro ou altura da escavação (m) e ESR é o índice de suporte da escavação (*Excavation Support Ratio*) (Tabela 5.4).

A correlação entre os índices RMR e Q , tendo em consideração o tipo de obra subterrânea, pode ser expressa mediante as equações (5.4), (5.5) e (5.6).

$$RMR = 10.5 \ln Q + 44 \quad \text{Para escavações de túneis de obras civis} \quad (5.4)$$

$$RMR = 10.5 \ln Q + 42 \quad \text{Para escavações em mineração} \quad (5.5)$$

$$RMR = 15 \ln Q + 50 \quad \text{Barton} \quad (5.6)$$

Tabela 5.3 – Ponderação de parâmetros para o Q (Barton, N. et al. 1980)

Descrição	Valor	Descrição	Valor
1. ROCK QUALITY DESIGNATION RQD		4. ÍNDICE DE DIACLASES (J_n)	
A. Qualidade muito má	RQD	Maciça, sem diaclases ou com poucas fissuras	0.5 – 1.0
B. Qualidade má	0 – 25	Uma família de diaclases.	2
C. Qualidade média	25 – 50	Uma família e algumas diaclases aleatórias.	3
D. Qualidade boa	50 – 75	Dois famílias de diaclases .	4
E. Qualidade excelente	75 – 90	Dois famílias e algumas diaclases aleatórias.	6
	90 - 100	Três famílias de diaclases.	9
		Três famílias e algumas diaclases aleatórias.	12
		Quatro famílias de diaclases.	15
		Rocha triturada e terrosa.	20

Tabela 5.3(cont.)– Ponderação de parâmetros para o Q (Barton, N. Et al. 1980)

Descrição	Valor	Descrição	Valor
2. ÍNDICE DA DESCONTINUIDADE DE DIACLASES (Jr)		5. FACTOR DE REDUÇÃO POR ÁGUA (J_w)	
a). Contacto nas duas faces da descontinuidade.		A. Escavações secas ou pequenas afluências inferiores a 5l/min de forma localizada.	1.0
b). Contacto nas duas faces da descontinuidade com deslocamento < 10 cm.	4	B. Afluência ou pressão média com lavagem ocasional do enchimento de diaclases.	0.66
A. Diaclases descontinuas.	3	C. Afluência importante ou alta pressão, em rocha competente com descontinuidades sem enchimento.	0.5
B. Diaclases onduladas, rugosas e irregulares.	1.5	D. Afluência importante ou alta pressão, com lavagem considerável de enchimento das diaclases.	0.33
C. Diaclases onduladas lisas.	1.5	E. Afluência excepcionalmente alta escoamento ou pressão elevada, no momento de disparos e decadência com o tempo .	0.2-0.1
D. Diaclases onduladas perfeitamente lisas.	1.0	F. Afluência excepcionalmente alta ou pressão elevada persistente, sem diminuição apreciável.	0.1-0.05
E. Diaclases planas, rugosas ou irregulares.	0.5		
F. Diaclases planas, lisas.			
G. Diaclases planas, perfeitamente lisas.			
c). Rocha fora do contacto.	1.0		
H. Zona contém argila, minerais precisam muita prevenção do contacto da parede da rocha.	1.0		
I. Zona arenosa, grava e queda, precisa muita prevenção do contacto da parede da rocha.			
3. ÍNDICE DE ALTERAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES (Ja)		6. ÍNDICE POR CONDIÇÕES DA TENSÃO (SRF)	
a). Contacto entre os planos da descontinuidade.	0.75	a). Zonas débeis intersectam à escavação, podendo-se produzir desabamento da rocha a medida que a escavação do túnel avança.	
A. Descontinuidade fechada, dura impermeável, quartzo.	1.0	A. Muitas zonas débeis, contém argila ou rocha desintegrada quimicamente, rocha de entorno muito instável (a qualquer profundidade de escavação).	10.0
B. Planos descontinuidade inalterados, superfície ligeiramente manchada .		B. Isoladas zonas débeis com argila ou desintegração química de rochas (profundidade de escavação <50 m).	5.0
C. Ligeira alteração de descontinuidades. Apresenta minerais secos, partículas de areia, rocha desintegrada livre de argila, etc.	2.0	C. Isoladas zonas débeis, com argila ou rocha desintegrada quimicamente (profundidade de escavação) (> 50 m).	2.5
D. Cobertura de argila com limo e areia. Fração pequena de argila (não branda).	3.0	D. Múltiplas zonas de fractura em rocha incompetente (sem argila) rocha de entorno solta (qualquer profundidade de escavação).	7.5
E. Cobertura de argila branda ou de baixa fricção, suave ou pequenas camadas (1 – 2 mm) de argila e mineral caolinite, mica, clorita, talco e grafite.	4.0	E. Zona de fracturas isoladas em rocha competente (sem argila) (profundidade de escavação <50 m).	5.0
b). Contacto entre os planos da descontinuidade ante um deslocamento cortante inferiores a 10 cm (minerais cheios em pequenas espessuras).	4.0	F. Zona de factura isoladas em rocha competente (sem argila) (profundidade de escavação > 50 m).	2.5
F. Partículas de areia, argila desintegrada de rocha, etc.	6.0	G. Terreno solta, diaclases aberto, fortemente fracturado (qualquer profundidade).	1.0
G. Forte consolidação, compacto, enchimento de argila e mineral (contínuo <5 mm espessura).	8.0	b). Rochas competentes, problemas de tensão nas rochas.	0.5-2.0
H. Consolidação Média a baixa, enchimento de argila e mineral suave (< 5 mm espessura).	8.0-12.0	H. Baixa tensão, perto da superfície, diaclases abertas.	5.0-50.0
I. Enchimento argila expansiva, montmorilhonite (contínuo <5 mm espessura).	6.0	J. Tensão média, condições de tensão favoráveis.	50-200
	8.0		200-400
	8.0-12.0		

Tabela 5.3(cont.)– Ponderação de parâmetros para o Q (Barton, N. Et al. 1980)

Descrição	Valor	Descrição	Valor
c). Não se produz contacto entre planos da descontinuidade ante um deslocamento cortante (cheios de mineral de grande espessura).	5.0	K. Tensão alta , estrutura muito compacto.	5.0-10.0
J. Zonas ou camadas de desintegração	10.0-13.0	L Relaxamento moderado da rocha depois de alguns minutos em rocha maciça.	10.0-20.0
K. Queda de rochas e argila	13.20	M. Relaxamento e estalido da rocha depois de alguns minutos em rocha.	5.0-10.0
L. Condições várias de argila.		N. Estalido violento da rocha e deformações dinâmicas iMédiatas em rocha maciça	10.0-20.0
M. Zonas de argila com limo ou com areia com algumas partes não seca.		c).Rochas deformáveis: fluência plástica da rocha incompetente em meio de altas pressões de rocha.	
N. Zonas ou bandas contínuas de argila de espessura grossa.		O. Suave pressão de deformação.	
Ñ. Similar a N com condições várias de argila.		P. Pressão de deformação intensa.	
		d). Rocha expansiva: função da presença da água.	
		R. Suave pressão expansiva.	
		S. Intensa pressão expansiva.	

Tabela 5.4 – Valores de ESR actualizados (Barton, N., et al., 2000)

Categoria da escavação	ESR
A. Escavações mineiras de carácter temporário	2 - 5
B. Galerias mineiras permanentes, túneis de centrais hidroeléctricas, túnel piloto, galerias de avanço em grandes escavações, câmaras de compensação hidroeléctrica	1.6 - 2
C. Câmaras de armazenagem, planta tratamento de água, túneis para estradas e ferrovias, acesso a túneis.	1.3 - 1.6
D. Centrais eléctricas subterrâneas, túneis para estradas e ferrovias primárias, câmaras para defesa civil, acesso e intersecção de túneis.	0.9 -1.0
E. Centrais de energia nuclear subterrâneas, estações de ferrovia, instalações públicas e desportivas, fábricas, túneis para tubos principais de gás.	0.5 - 0.8

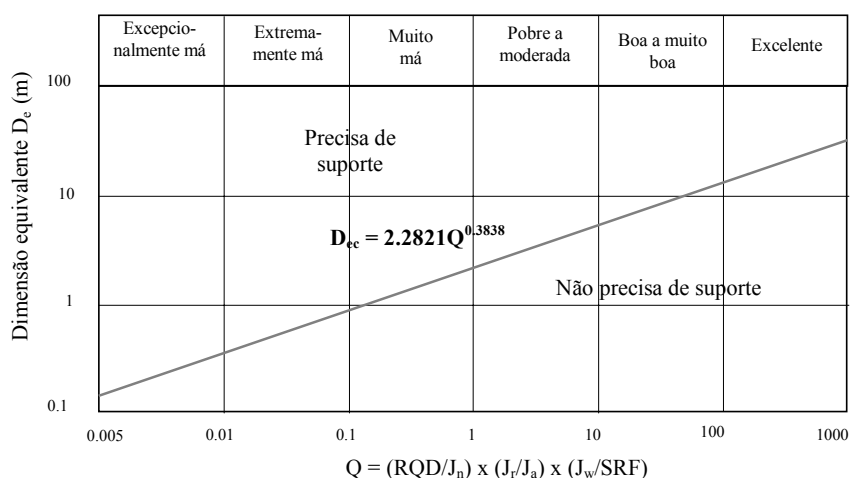


Figura 5.3 – Classificação geomecânica segundo o índice Q e requisito de suporte (Barton, N., et al., 1980)

Barton, N. e Grimstad, E. (2000), correlacionam a velocidade das ondas P ou longitudinais V_p (m/s) com o índice Q , baseado em projectos realizados na Noruega, Suécia, Inglaterra e China (Hong Kong), obtendo a equação (5.7).

$$Q = 10^{\frac{V_p - 3500}{1000}} \quad (5.7)$$

Laubscher D.H. (1990), relaciona o esforço à compressão uniaxial (ECU) e a razão de ECU (r_{ECU}) com o índice RMR para obter o índice *Rock Mass Strength* (RMS) mediante a equação (5.8). O valor de r_{ECU} pode determinar mediante a Tabela 5.5.

$$RMS = 0.8ECU \left(\frac{RMR - r_{ECU}}{80} \right) \quad (5.8)$$

Tabela 5.5 – Valores típicos da razão da compressão uniaxial (r_{ECU}) (Laubscher, D.H., 1990)

ECU(Mpa)	>185	165-185	145-164	125-144	105-124	85-104	65-84	45-64	35-44	25-34	12-24	5-11	1-4
r_{ECU} (%)	20	18	16	14	12	10	8	6	5	4	3	2	1

Barton propõe a equação (5.9) para determinar o valor crítico do índice Q para o vão duma escavação subterrânea (B) em relação ao índice ESR.

$$Q = (B / 2ESR)^{2.5} \quad (5.9)$$

5.3.2. Características de resistência, de deformabilidade e o efeito das descontinuidades

5.3.2.1. Parâmetros de resistência

A equação de Mohr – Coulomb (5.10), expressa o critério de rotura plástica mediante a tensão axial de rotura σ'_1 para diferentes valores da tensão de confinamento σ'_3 , dada pela equação (5.10) em função da resistência à compressão simples do maciço σ_{cm} e o factor k :

$$\sigma'_1 = k \cdot \sigma'_3 + \sigma_{cm} \quad (5.10)$$

O factor k é o declive da linha que se obtém ao representar σ_1 em função de σ_3 e é dado em função do ângulo de fricção do maciço ϕ , por:

$$k = \operatorname{tg}^2(45^\circ + \phi/2) = \frac{1 + \operatorname{sen}\phi}{1 - \operatorname{sen}\phi}$$

A resistência à compressão simples do maciço rochoso σ_{cm} vêm dada pela equação (5.11), em função da coesão C e ângulo de fricção interna:

$$\sigma_{cm} = \frac{2C \cos\phi}{(1 - \operatorname{sen}\phi)} \quad (5.11)$$

A equação de Hoek e Brown (5.12), descreve o critério de rotura quer em rocha intacta quer em maciços rochosos com diaclasamento e meteorização, relacionando os esforços principais σ_1 e σ_3 (Hoek, E; Brown E.T., 1982), em função da resistência à

compressão simples da rocha intacta e factores m e s que dependem das propriedades da rocha (Tabela 5.6).

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{cm} \left(m \frac{\sigma_3}{\sigma_{cm}} + s \right)^{0.5} \quad (5.12)$$

Quando não existe confinamento lateral ($\sigma_3 = 0$) e $s = 1$ (ensaios de laboratório), resulta $\sigma_1 = \sigma_{cm}$.

A resistência à tracção σ_t determina-se considerando $\sigma_1 = 0$, pelo que $\sigma_3 = \sigma_t$ resultando a equação seguinte:

$$\sigma_t = 0.5\sigma_{cm} \left(m - (m^2 + 4s)^{0.5} \right) \quad (5.13)$$

As equações determinadas por *Ucar, R. (1986)* (5.14 e 5.15) são aplicáveis para calcular a resistência ao corte τ_α e a tensão normal σ_n , em função do ângulo entre a tangente à superfície da falha e a direcção do esforço principal menor (envolvente de rotura de Mohr-Coulomb) $\alpha = \frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2}$, onde β é a inclinação da envolvente da falha.

$$\tau_\alpha = \frac{m \cdot \sigma_{cm}}{8} \left[\frac{1 - \text{sen}\beta}{\tan\beta} \right] \quad (5.14)$$

$$\sigma_n = \frac{m \cdot \sigma_{cm}}{8} \left[\frac{1}{2\text{sen}^2\beta} + \text{sen}\beta \right] - \sigma_c \left[\frac{3m}{16} + \frac{s}{m} \right] \quad (5.15)$$

Tabela 5.6 – Valores típicos dos parâmetros do critério de rotura m e s (Hoek e Brown, 1980)

Tipo de rocha	(1)		(2)		(3)		(4)		(5)	
	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s
Qualidade RMR										
100 (intacta)	7.0	1.0	10.0	1.0	15.0	1.0	17.0	1.0	25.0	1.0
85 (muito boa)	3.5	0.1	5.0	0.1	7.5	0.1	8.5	0.1	12.5	0.1
65(boa)	0.7	0.004	1.0	0.004	1.5	0.004	1.7	0.004	2.5	0.004
44 (normal)	0.14	0.0001	0.2	0.0001	0.3	0.0001	0.34	0.0001	0.5	0.0001
23 (má)	0.04	0.00001	0.05	0.00001	0.08	0.00001	0.09	0.00001	0.13	0.00001
3 (muito má)	0.007	0	0.01	0	0.015	0	0.017	0	0.025	0

(1): Rochas carbonatadas bem cristalizadas (dolomitas, calcário, mármore, etc.)

(2): Rochas argilosas litificadas (argilitos, limolitas, xistos, etc.)

(3): Rochas arenosas bem cimentadas (arenitos, quartzitos, etc.)

(4): Rochas ígneas de grão fino (andesita, dolerito, diabase, riolitos, etc.)

(5): Rochas ígneas de grão grosso (Gneise, granito, quartzo-diorito, etc.)

A tensão vertical principal σ_v (MPa) encontra-se em função da profundidade z (m) cuja expressão obtida por Hoek e Brown (1982) através de dados experimentais realizados em muitos países do mundo resulta a equação (5.16) e a correlação entre σ_v (tensão vertical *in situ*) e σ_h (tensão horizontal média) é expressa pela equação (5.17).

$$\sigma_v = 0.027z \quad (5.16)$$

$$\sigma_v = K \cdot \sigma_h \quad \text{para: } (100/z) + 0.3 < K < (150/z) + 0.5 \quad (5.17)$$

Um modelo prático para estimar a tensão tangencial σ_θ ($\sigma_{\theta t}$ no tecto e $\sigma_{\theta h}$ nos hasteais) é o proposto por Hoek e Brown, baseado na tensão vertical *in situ* σ_v , valores de A e B (Tabela 5.7) e função da geometria da abertura subterrânea, segundo as equações seguintes:

$$\sigma_{\theta t} = (A \cdot k - 1) \sigma_v \quad (5.18) \quad \sigma_{\theta h} = (B - k) \sigma_v \quad (5.19)$$

Tabela 5.7 – Valores das constantes A e B (Hook e Brown, 1982)

VALORES DAS CONSTANTES A e B									
A	5,0	4,0	3,9	3,2	3,1	3,0	2,0	1,9	1,8
B	2,0	1,5	1,8	2,3	2,7	3,0	5,0	1,9	3,9

Para o caso de câmaras e pilares, Bieniawski realizou estudos do comportamento geotécnico de pilares obtendo a equação (5.20):

$$\sigma_p = \sigma_1 \left(0.64 + 0.36 \frac{B}{H} \right) \quad (5.20)$$

em que, σ_p é o esforço no pilar, σ_1 é esforço de uma amostra cúbica de dimensões críticas (exemplo de 1 m para carvão), B e H são largura e altura do pilar, respectivamente.

5.3.2.2. Parâmetros de deformação

Para caracterizar a deformação da rocha usam-se normalmente o *coeficiente de Poisson* e o *módulo de Young*. Actualmente admite-se que o coeficiente de Poisson do maciço rochoso é igual ao da rocha intacta determinado em laboratório.

O módulo de deformação, E_m (GPa), pode ser calculado com as equações de Bieniawski, 1978 (5.21), de Serafim e Pereira, 1983 (5.22), de Hoek e Brown, 1995 (5.23), de Boyd, 1993 (5.24), de Barton, 1995 (5.25), de Hoek e Carranza-Torres, 2002 (5.26) e de Barton e Grimstad, 2000 (5.27 e 5.28); nas quais σ_c é a resistência à compressão simples da rocha (MPa), GSI (*Geological Strength Index*), p' é a tensão efectiva (p' máxima = 1 MPa e p' mínima = 0.1 MPa), D é o factor de efeitos por detonação do explosivo e relaxação da tensão (Tabela 5.8) e V_p é a velocidade de propagação das ondas longitudinais (m/s).

$$E_m = 2RMR - 100, \text{ para } RMR > 50 \quad \text{Bieniawski} \quad (5.21)$$

$$E_m = 10^{\frac{RMR-10}{40}}, \text{ para } 35 < RMR < 50 \quad \text{Serafim e Pereira} \quad (5.22)$$

$$E_m = \left(\frac{\sigma_c}{100} \right)^{0.5} 10^{\frac{GSI-10}{40}}, \text{ para } RMR > 50 \quad \text{Hoek e Brown} \quad (5.23)$$

$$E_m = RMR^3 / 10^4 \text{ (p' máxima)} \text{ e } E_m = RMR^4 / 10^6 \text{ (p' mínima)},$$

para $RMR < 35$ Boyd (5.24)

$$E_m = 10 \log Q^{0.33} \quad \text{Barton} \quad (5.25)$$

$$E_m = \left(\frac{1-D}{2} \right) \left(\frac{\sigma_c}{100} \right)^{0.5} 10^{\frac{GSI-10}{40}}, \text{ para } RMR > 50 \quad \text{Hoek e Carranza-Torres} \quad (5.26)$$

$$E_m = 25 \log Q \quad \text{Para rochas não porosas} \quad \text{Barton e Grimstad} \quad (5.27)$$

$$E_m = \frac{V_p - 3500}{40} \quad \text{Para } V_p > 3500 \text{ m/s} \quad \text{Barton e Grimstad.} \quad (5.28)$$

As equações indicadas têm base experimental ou prático, o que reforça a fiabilidade para aplicação a problemas no domínio ambiental das rochas, embora se possam usar outros procedimentos, tais como:

- Métodos de medição *in situ* (pressiodilatómetros e macacos planos);
- Ensaios pressiométricos (aplicação em solos);
- Ensaios dilatométricos (aplicação em rochas).

Tabela 5.8 – Factor dos efeitos por detonação do explosivo e relaxação da tensão (D)
(Adaptado de Barton, 2002 por Romana Ruiz, M., 2002)

Tipo de trabalho	RMR	Método de escavação	D
Túnel	Médio a bom	Desmonte controlado	0
	Médio a bom	TBM/Mecânica	0
	Pobre	Mecânica/não apertando	0
	Pobre	Mecânica/apertando	0.5
	Qualquer	Desmonte deficiente	0.8
Rampa	Qualquer	Desmonte controlado	0.7
		Ripado/corte	0.7
		Desmonte deficiente	1.0
Céu aberto/pedreira	Qualquer	Mecânica	0.7
		Desmonte de produção	1.0

5.3.3 EDZ (*Excavation Damaged Zone*) na queda e desabamento de rochas

A detonação do explosivo confinado nos furos perfurados em rocha, gera um grande volume de gases a altas temperaturas (2000 – 5000 °C) e a altas pressões (10 - 40 GPa). A aplicação repentina destas cargas produzem impulsos de tensão compressiva na superfície interna do furo (rocha), provocando danos na zona circundante da abertura subterrânea. As dimensões dos danos dessa zona dependem do tamanho da carga explosiva detonada, resistência á força dinâmica das rochas, da velocidade de propagação da onda, e as velocidades da vibração transmitidas à rocha.

Quando uma carga explosiva detona dentro dum furo podem distinguir-se danos de diverso tipo e dimensão, na zona circundante: 1) Zona de rocha triturada; 2) Zona de fracturas radiais; 3) Zona de expansão das fracturas; e 4) Zona elástica, onde não se forma nenhuma fractura. Os danos que podem ocorrer na rocha verificam-se antes da zona elástica (fig. 5.4 à esquerda).

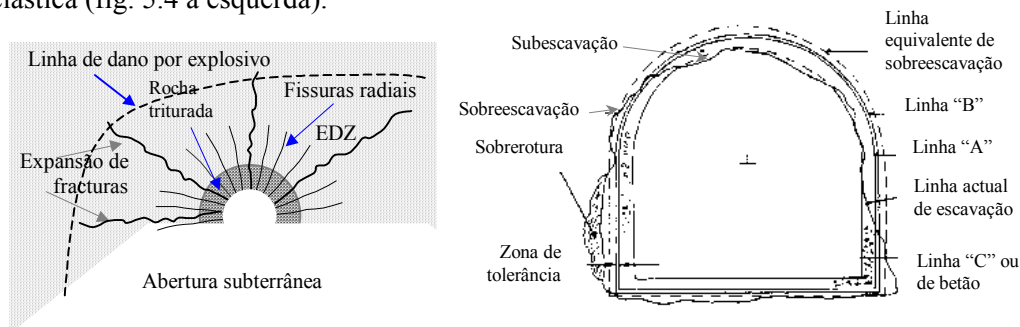


Figura 5.4 – EDZ ocasionado na escavação dum abertura subterrânea com uso de explosivo

A zona de trituração e facturação denomina-se como EDZ (*Excavation Damaged Zone*) que se apresenta sob duas formas: sobrescavação (“overbreak”) e subescavação (“underbreak”) chamada também DOW (*Damage to the Opening Wall*) (fig. 5.4 direita), que é a danificação de uma certa espessura de rocha circundante à abertura ocasionada pela acção explosiva (fig. 5.4 esquerda).

Os factores que influenciam o valor de EDZ podem convenientemente ser agrupados em duas categorias: características do maciço rochoso (factores geológicos) e do explosivo (factores de desmonte de rochas) (Tabela 5.9).

5.3.3.1. *Quantificação da sobrescavação e subescavação*

Para medir a sobrescavação e a subescavação, existem actualmente três métodos baseados na quantificação do perfil da escavação: manual, topográfico e de fotográfico. Este último método, denominado *photographic light sectioning method* (LSM), oferece diversas vantagens e é baseada no princípio da projecção dum luz radial ao perímetro da abertura subterrânea, de modo que os raios caracterizem o contorno do perímetro da cavidade. A imagem deste perímetro é guardada em arquivo informático, para análise computadorizada.

Tabela 5.9 – Factores geológicos e de desmonte de rochas que influenciam o EDZ (Navarro Torres, V. e Dinis da Gama, C. 2002)

Factores geológicos	Factores do desmonte de rochas
Orientação das diaclases	Tipo de explosivo e factor de potência
Espaçamento das diaclases	Concentração de carga explosiva
Enchimento com argila ou alteração	Tempo de retardo
Resistência da rocha	Plano de fogo
Efeitos da tensão <i>in situ</i>	Erro na perfuração
Influência de água subterrânea	Diâmetro e comprimento dos furos carregados e furos vazios

As análises gráficas e numéricas permitem o cálculo de valores de EDZ, ou seja *Overbreak* (O) e *Underbreak* (U) de forma quantitativa expressa normalmente em percentagem (%) (Tabela 5.10). Estes valores podem correlacionar-se com os factores geológicos expressos no índice de Barton, *Q* (*Tunneling Quality Index*), ou mediante a velocidade de propagação das ondas P, V_p (m/s) e com o factor de desmonte de rochas expresso em Energia Específica Periférica, *EEP*.

A Energia Específica Periférica, *EEP*, é definida como a energia explosiva utilizada na escavação do maciço rochoso correspondente á zona periférica anelar da secção da abertura subterrânea. A *EEP* (kcal/m³) determinadas pela equação (5.29), com base no factor de potência da carga explosiva, utilizada nos furos periféricos P_f dividida pelo volume de rocha desmontada nesta zona anelar (kg/m³) e a energia libertada pelo tipo de explosivo ou explosivos usados, E_e (kcal/kg).

$$PPF = F_p \cdot E_e \quad (5.29)$$

O índice Q de Barton é determinável pela equação (5.2) ou pelas equações (5.4), (5.5) ou (5.6).

Tabela 5.10 – Resultados da análise gráfica e numérica

Informação geral	Parâmetros de EDZ
Nome da abertura subterrânea	Volume escavado (m ³ /m)
Localização exacta da secção (perfil)	Volume de sobreescavação (m ³ /m) (%)
Data e hora da medição	Volume subescavação (m ³ /m) (%)

Correlacionando estes dois parâmetros com o *Overbreak* (O) e o *Underbreak* (U) obtêm-se as equações (5.30) e (5.31), onde os factores *A*, *B*, *C*, *A'*, *B'*, e *C'* são coeficientes cujos valores se obtêm mediante processos estatísticos de regressão múltipla e que ponderam a qualidade do maciço rochoso, expresso pela velocidade de propagação das ondas P, V_p (m/s), e a Energia Específica Periférica, *EEP* (kcal/m³).

$$O(\%) = A + B \cdot PPF - C \cdot V_p \quad (5.30)$$

$$U(\%) = A' - B' \cdot PPF + C' \cdot V_p \quad (5.31)$$

Os valores dos seis factores são obtidos a partir de estudos *in situ* pelo que, as equações indicadas são particulares para cada caso ou projecto.

Apresenta-se de seguida uma equação particular, determinada com base nos dados obtidos durante a escavação dum túnel do projecto hidroeléctrico em Nararit México (Ibarra, J.A., *et al.*, 1996), em que os coeficientes, para uma correlação baseada

no índice Q de Barton e o factor de potência periférica do explosivo (ANFO), deram uma correlação de 0.86 e 0.913, respectivamente.

$$O(\%) = 3.38 + 0.01538EEP - 0.00145V_p$$

$$U(\%) = 5.8 - 0.01163EEP + 0.00072V_p$$

Mesmo para um caso particular, estas equações podem ser úteis para previsões iniciais modificando os factores B e B' para o tipo de explosivo a utilizar.

A velocidade sísmica das ondas P é um parâmetro de fácil determinação mas precisa ter em consideração a influência da profundidade e porosidade (fig. 5.5)

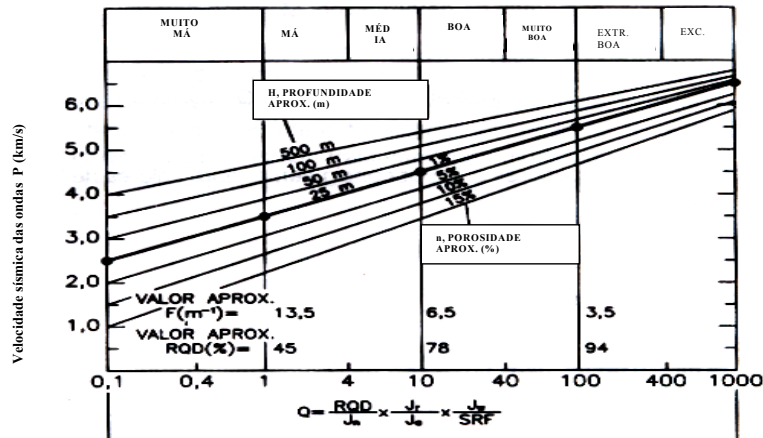


Figura 5.5 – Velocidade sísmica das onda P em diferentes tipos de rocha (Barton, N., et al, 2000)

5.3.3.2. Quantificação da espessura de rocha danificada na zona circundante à abertura subterrânea

Investigações efectuadas por Holmberg, R. (1982) provaram que a dimensão dos danos de qualquer maciço rochoso, provocada pela acção dos disparos com explosivo em aberturas subterrâneas, dependem do tempo de exposição, da presença de água, da orientação dos planos de descontinuidade e das tensões existentes no maciço.

Holmberg estabelece que o fenómeno dos danos que atinge uma distância D está correlacionado com a velocidade de pico de partículas, v_c , induzidas pela detonação das cargas explosivas, Q_e , expresso pela equação (5.32).

$$v_c = a.Q_e^b . D^c, \quad (5.32)$$

onde a , b e c são coeficientes que dependem das propriedades da rocha, tipo de explosivo e técnicas de carga usadas.

Holmberg ao estudar os danos em túneis construídos em granito, indica que as fissuras se originam quando a velocidade pico das partículas alcança valores entre 700 a 1000 mm/s. Isto significa que uma concentração linear de 1 kg/m cria um volume de 1 a 1.4 m de raio de rocha danificada à volta do furo carregado.

Uma conclusão similar estabeleceu Brawner (1974), quando definiu a formação de um conjunto de fissuras num disparo em rochas duras, com velocidade pico das partículas entre 610 e 1270 mm/s, com as quais se iniciaram a roturas na rocha.

Os valores da velocidade pico das partículas (velocidade vibratória crítica), v_c , podem correlacionar-se com a tensão dinâmica ou transmitida σ_d , a massa volúmica da rocha, ρ , e a velocidade de propagação das ondas longitudinais, V_p , com a equação (5.33).

$$\sigma_d = \rho.V_p.v_c \quad (5.33)$$

Dinis da Gama, C. (1998), atendendo às equações 5.32 e 5.33 obtém uma equação que permite estimar os danos provocados, D_d , em metros (fig. 5.6), em desmontes subterrâneos com explosivo (5.34).

$$D_d = \left(\frac{\sigma_d}{\rho.V_p.a.Q_e^b} \right)^{\frac{1}{c}} \quad (5.34)$$

em que, σ_d (tensão dinâmica ou transmitida à rocha) é expressa em Pa, ρ (massa volúmica do maciço rochoso) em kg/m^3 , V_p (velocidade de propagação das ondas no maciço) em m/s, Q_e (carga explosiva detonada por retardo) em kg, e os parâmetros a , b e c são constantes que dependem das propriedades da rocha, tipo de explosivo e técnicas de carga utilizadas.

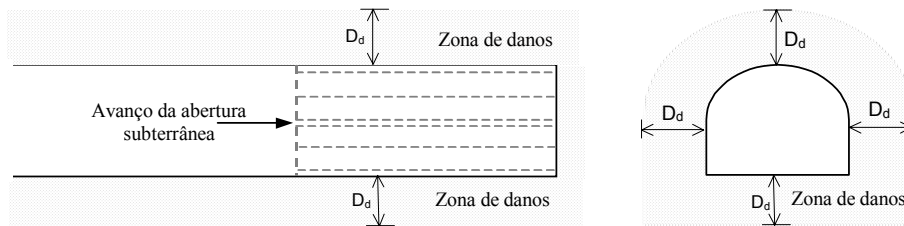


Figura 5.6 – Espessura da rocha danificada pela detonação do explosivo

Para determinar os valores dos coeficientes a , b e c em condições particulares, o processo baseia-se em medições das velocidades V_p para cargas explosivas Q_e e distâncias D correspondentes, para depois determiná-los aplicando técnicas estatísticas de regressão.

Investigações realizadas por vários estudiosos em certas condições e em diversos locais do mundo, recomendam os valores indicados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Valores dos coeficientes a , b , c (C. Dinis da Gama et al., 2001)

Autor	Tipo de rocha	Lugar	a	b	c
Johnson	Rocha sã	E.U.A.	3450	0.73	-1.87
Johnson	Alterada e fofa	E.U.A.	11560	0.73	-1.50
Holmberg	Massa granítica	Suécia	700	0.70	-1.50
E.P.M:	Granito com alterações	Espanha	14542	1.42	-1.59
D. da Gama	Granito com alterações	Portugal	14542	0.70	-1.59
V.N.Torres	Xisto/filões quartzo	Portugal	472	0.40	-1.58

5.4. Padrões Geotécnicos

Para controlar os problemas de instabilidade e desabamento de rochas provocados pelas escavações subterrâneas, que podem causar impactes ambientais de carácter geotécnico, é preciso compreender a resposta do maciço nas escavações e as exigências de suporte.

Tabela 5.12 – Parâmetros geotécnicos de algumas rochas intactas (Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers Washington, disponível em www.usace.army.mil/inet/usace-docs/eng-manuals/em1110-2-2901/toc.pdf)

Tipo de rocha	Localização	Massa volúmica (Mg/m ³)	Módulo de Young (GPa)	CUS (MPa)	Resistência à tracção (MPa)
Anfibolito	Califórnia	2.94	92.4	278	22.8
Andesite	Nevada	2.37	37.0	103	7.2
Basalto	Michigan	2.70	41.0	120	14.6
Basalto	Colorado	2.62	32.4	58	3.2
Basalto	Nevada	2.83	33.9	148	18.1
Basalto	Utah	2.54	14.1	88	3.0
Conglomerado	Nova Iorque	2.94	95.8	321	55.1
Diabase	Arizona	2.71	46.9	119	8.2
Diorite	Ilinois	2.58	51.0	90	3.0
Dolomite	Nova Iorque	3.03	55.3	186	13.8
Gabro	Idaho	2.79	53.6	162	6.9
Gneisse	Nova Jersey	2.71	55.2	223	15.5
Gneisse	Geórgia	2.64	39.0	193	2.8
Granito	Maryland	2.65	25.4	251	20.7
Granito	Colorado	2.64	70.6	226	11.9
Granito	Alasca	2.77	68.4	221	5.5
Graywacke	Canada	-	-	22	2.4
Gesso	Alemanha	2.62	63.8	64	4.0
Calcário	Indiana	2.30	27.0	53	4.1
Calcário	Nova Iorque	2.72	54.0	127	11.7
Mármore	Tennessee	2.70	48.3	106	6.5
Mármore	Michigan	3.24	76.5	126	22.8
Filite	Minnesota	2.75	84.8	629	23.4
Quartzito	Utah	2.55	22.1	148	3.5
Quartzito	Canada	2.20	4.6	36	2.5
Sal	Alasca	2.89	10.5	39	5.2
Arenito	Utah	2.20	21.4	107	11.0
Arenito	Colorado	2.47	9.0	15	
Xisto	Alasca	2.89	39.3	130	5.5
Xisto	Utah	2.81	58.2	216	17.2
Xisto	Pensilvânia	2.72	31.2	101	1.4
Xisto	Pensilvânia	2.76	30.6	113	2.8
Xisto	Michigan	2.93	75.9	180	25.5
Ardósia, Piçarra	Nevada	2.39	3.7	11	1.2
Tufo vulcânico	Japão	1.91	76.0	36	4.3

Para isso, apresenta-se a seguir informações técnicas relacionadas com parâmetros geotécnicos e índice de qualidade conhecidos que, *se bem não constituam padrões exactos*, podem ser muito úteis na quantificação da resposta da rocha e fornecer uma base para avaliação e gestão ambiental, relacionada com esta componente. Nas Tabelas 5.12, 5.13 e 5.14 apresentam-se os valores obtidos por diversos estudos realizados.

Tabela 5.13 – Índice da resistência à compressão não confinada (disponível em MinigLife, <http://banners.orbitcycle.com/router/mininglife/Resources/0000/b-306037.html>)

Qualidade da rocha	UCS (MPa)	Carga Pontual (MPa)	Schmidth (Tipo L Hammer)	Exemplos*
R5 Extremamente resistente	>250	>10	50 - 60	Basalto fresco, cherte, diabase, gneise, granito, quartzito
R4 Muito resistente	100 - 250	4 - 10	40 - 50	Anfibolito, arenito, basalto, gabro, gneise, granodiorito, calcário, mármore, riolite, tufo
R3 Resistente	50 - 100	2 - 4	30 - 40	Calcário, mármore, filito, arenito, xisto, xisto argiloso
R2 Resistência média	25 - 50	1 - 2	15 - 30	Argila metamórfica, carvão, xisto, xisto argiloso, siltito
R1 Débil	5 - 25	**	<15	Giz, sal rocha, potássio
R0 Muito débil	1 - 5	**		Rocha muito alterada
Extremamente débil	0.25 - 1	**		Argila mole
* Todas as rochas mostraram heterogeneidade na composição e anisotropia na estrutura				
** Rochas com UCS (Uniaxial Compression Stress) <25 MPa mostraram resultados ambíguos nos ensaios				

A instabilidade e desabamento das rochas na escavação de aberturas subterrâneas estão relacionados com os efeitos nocivos provocados pelas explosões que são associados à velocidade vibratória do maciço rochoso. Quando esta velocidade ultrapassa a velocidade vibratória crítica (v_c) acontece o dano ou a fracturação da rocha (Tabela 5.15).

No caso de aberturas subterrâneas com uso de explosivo em zonas urbanas os padrões utilizados estão relacionados com a velocidade vibratória crítica, com o tipo de estrutura e com a frequência de vibração (fig. 5.7).

Tabela 5.14 – Comportamento típico do maciço rochoso (Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers Washington, disponível em www.usace.army.mil/inet/usace-docs)

Resistência à compressão (MPa)	Rochas típicas	Comportamento do maciço rochoso
440	Basalto denso, quartzito, diabase, gabro	Estouro de rocha com violência regional e local
220	Granito, maioria de rochas ígneas, gneise, mármore metamórfico resistente, xistos	Saídas da ruptura nos furos e estouro de pouca rocha, lascando e estalando
110	Rocha sedimentar densa e dura, tufo compacto, dolomite, calcário	Projecção
55	Rocha xistosa	Esfoliação (escamção)
28	Filite	Esfoliação (escamção)
14	Rocha sedimentar de baixa massa volúmica, giz	Placas tensionais
7	Tufos	Pouco deslocamento
3.4	Marga, xisto argiloso	Deslocamento sequencial e xistos pobremente cimentados
1.7	Xisto argiloso débil	Incha quando se destrói o cimento
0.8	Rocha alterada	Desabamento de argila fissurada
0.4	Argila dura	Argila mole não fissuradas
· Inchação da anidrite (> 2 MPa inchação com pressão de água infiltrada)		Nota: A proximamente o limite inferior do estalido da rocha é: 125-165 MPa

Na Tabela 5.16, Q é a carga máxima de explosivo a ser detonado por retardo (lb) e D a distância entre a zona da explosão à estrutura mais próxima, edifício público, escola, igreja ou prédios comerciais ou institucionais.

A Norma Portuguesa NP-2074 (Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosões ou solicitações similares) que segue, nas suas linha gerais, a Norma DIN 4150 (*Vibrations in Building; Influence on Constructions*, 1975), estabelece um valor limite da velocidade da vibração, v_L (m/s), comparando com valor máximo da velocidade que caracteriza a vibração, v_R (m/s).

Tabela 5.15 – Velocidades sísmicas de ondas longitudinais V_p e velocidade vibratória crítica v_c (Orche, E., 2001 e medições na mina de Panasqueira, 2001)

Ar, Água e rochas			Depósitos minerais de E.U.A. e Portugal		
Rocha	V_p (m/s)	v_c (m/s)*	Tipo de depósito	V_p (m/s) Minério	V_p (m/s) Rocha encaixante
Ar	330		Pórfiro de cobre	Óxido: 1620	3810
Água	1400 – 1700			Sulfuro: 2670	
Camada meteor	250 – 1000			Misto: 2160	
Aluviões	300 – 1000		Pórfiro de cobre	1860	3350
Areia saturada	1200 – 1900		Cu disseminado em skarn	2130	3050
Argila	1100 – 2500		W disseminado em tactita	3970 – 10150	2700
Marga	1800 – 3200		W disseminado em tacita	5210 – 7200	3050 – 3930
Arenito	1800 – 3200	0.93 – 1.65	Sulfuro maciço Cu-Zn	3200	1770
Gesso	3100 – 3600		Filão de Ag	1420 – 3050	1220 – 3930
Anidrite	4500 – 5800		Filão de Au – Ag	610 – 1800	2400 – 3660
Calcário	3400 – 6000	0.28 – 0.50	Ouro em aluvião	2740	4880
Dolomites	5000 – 6000	0.19 – 0.23	Ouro em aluvião	1520	2870 – 5550
Sal maciço	4300 – 7000	0.16 – 0.26	Ouro em aluvião	1220	3050
Quartzitos	5100 – 6100	0.82 – 0.98	Fosfato sedimentar	1220	3050
Xisto (Ardósia)	2400 – 5000	0.50 - 1.00	Talco em dolomite e gneise	5550	2010 – 3380
Gneisse	3100 – 5400	0.77 – 1.30	Barita em prazer	4570	1620 – 2350
Granito	5000 – 6200	0.55 – 0.70	Filão de WO ₃ em xisto	6462	Nota: Média de 14 registos 5100 m/s Mina Panasqueira
Gabro	6400 – 6800	0.68 – 0.75	Filão de WO ₃ em xisto	4662	
Basalto	5500 – 6300	0.70 – 0.80	Filão de WO ₃ em xisto	4663	
Dunita	7500 – 8400		Filão de WO ₃ em xisto	5000	
Diabasa	5800 - 7100	2.68 – 3.68	Filão de WO ₃ em xisto	4091	

* Calculados com valores das Tabelas 3.63 e 3.66

O valor máximo da velocidade que caracteriza a vibração, v , deve obter-se com o registo temporal com transdutor triaxial (uma unidade de amplificação e um registador) em gama de frequências de 3 KHz a 60 Hz, com transdutor rigidamente fixado ao elemento da estrutura, de forma a que uma das direções horizontais coincida com a linha definida pelo ponto de medição e pela origem da solicitação (componente radial da vibração), obtendo-se o registo das três componentes da velocidade de vibração, com os quais a v_R é determinada pela equação (5.35), onde $v_x(t)$, $v_y(t)$ e $v_z(t)$, são os valores das componentes da velocidade de vibração em função do tempo, expressos em m/s.

Tipo de estrutura (edificações)	Velocidade vibratória crítica v_c (mm/s)	
	Baixa frequência (<40 Hz)	Alta frequência (> 40 Hz)
Modernas	19.1	50.8
Antigas	12.7	50.8

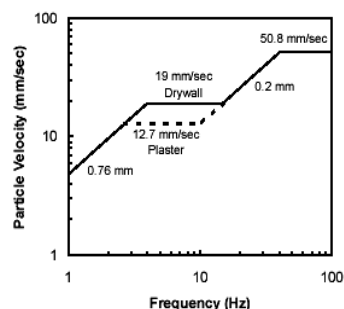


Figura 5.7 – Velocidade vibratória crítica de edificações próximas a fontes de vibração no ambiente subterrâneo (Siskind, D. E, et al, 1980)

Tabela 5.16 – Distância recomendada, velocidade vibratória crítica, equação da carga explosiva e distância a edificações civis próximas de uma exploração mineira (<http://www.lrc.state.ky.us/kar/805/004/155.htm>)

Distância à zona de explosão (m)	v_c (cm/s)	Equação
0 a 91.44	3.175	$Q_e = (D/50)^2$
91.74 a 1542	2.540	$Q_e = (D/55)^2$
> 1542	1.905	$Q_e = (D/65)^2$

$$v_R = \max \left| \sqrt{v_x^2(t) + v_y^2(t) + v_z^2(t)} \right| \quad (5.35)$$

$$v_L = \alpha\beta\gamma 10^{-2} \quad (5.36)$$

A norma NP-2075 considera que v_R , calculada pela equação (5.35), não deve exceder o valor v_L sob pena de poder ocorrer fendilhação, danificando a construção. A velocidade limite admissível v_L (m/s), segundo esta norma, deve calcular-se através da equação (5.36), onde α , β e γ são coeficientes que assumem os valores indicados nas Tabelas 5.17 e 5.18.

Um padrão de carácter geral de importância é a curva definida por Barton, Lien e Lunde (1980) que permite estimar a *necessidade ou não de suporte* de uma abertura subterrânea, tendo como referência a dimensão equivalente, D_e , calculado com a equação (5.37) para um meio rochoso definido pelo índice Q (fig. 5.3). Esta curva corresponde a uma equação exponencial (5.37), que no presente livro se denomina *curva crítica do risco ambiental geotécnico para escavações subterrâneas* (D_{ec}).

$$D_{ec} = 2.2821Q^{0.3838} \quad (5.37)$$

Tabela 5.17 – Valores do coeficiente α

Características do terreno	α
Rochas e solos coerentes rijos ($v > 2000$ m/s)	2
Solos coerentes muito duros, duros e de consistência média; solos incoerentes compactos; areias e misturas areia-seixo bem graduadas, areias uniformes ($1000 \text{ m/s} < v < 2000 \text{ m/s}$)	1
Solos incoerentes soltos; areias e misturas areia-seixo bem graduadas, areias uniformes, solos coerentes moles e muito moles ($v < 1000$ m/s)	0.5

Tabela 5.18 – Valores dos coeficientes β e γ

Tipo de construção	β	Número médio diário de solicitações	γ
Construções que exigem cuidados especiais (monumentos históricos, hospitais, depósito de água, chaminés)	0.5	<3	1
Construções correntes	1	> 3	0.7
Construções reforçadas	3		

Baseado nesta equação (5.37), para uma abertura expressa por D_e e um tipo de rocha com índice Q , corresponde apenas um ponto da curva crítica do risco ambiental geotécnico D_{ec} (fig. 5.8) e numa recta que passa por este ponto. Na recta, os valores de D_e maiores que D_{ec} *precisam* suporte e os valores menores *não precisam* suporte, constituindo uma boa referência (padrão) para fins de identificação do nível de impacte ambiental geotécnico para escavações subterrâneas.

Outros indicadores importantes que se podem usar como padrões de referência para efeitos da identificação do nível do impacte ambiental *geotécnico*, são a deformação δ (convergência), relação de tensão e RMS (*Rock Mass Strength*) (Δ Tensão/RMS), variação da tensão ($\Delta\sigma$), relação de tensão e resistência à compressão uniaxial UCS (Δ Tensão/ECU), etc.

5.5. Matriz base para a identificação do nível de impacte ambiental geotécnico

A matriz base para a identificação do nível de impacte ambiental devido ao instabilidade e desabamento de rochas em escavações subterrâneas (Tabela 5.19), é baseada na equação limite do risco ambiental geotécnico (5.37) e nos indicadores ou relações propostas como padrões, que como já foi dito, não têm carácter definitivo mas pode ser muito útil para a procura de alternativas de prevenção ou medidas correctivas para atenuar a níveis permissíveis para evitar efeitos ambientais negativos.

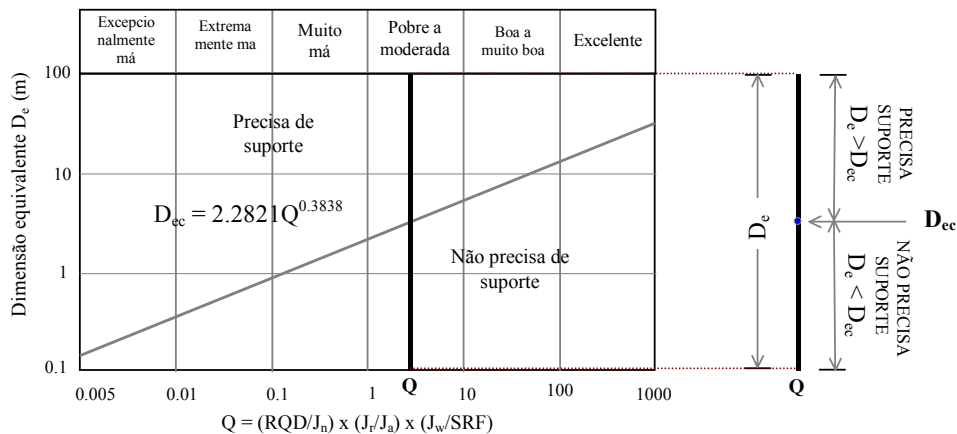


Figura 5.8 – Referência para a identificação do nível de impacte ambiental geotécnico

Os valores de p , q , r , s devem ser obtidos de muitas e sistemáticas medições durante a fase construtiva.

Tabela 5.19 – Matriz base para identificação de níveis de impacte ambiental devido à instabilidade e desabamento de rochas

Nível de impacte	D_e para um índice Q	Velocid. de vibração v_R	Converg (δ)	Δ Tensão ($\Delta\sigma$)	Δ Tensão/RMS	Δ Tensão/ECU
Leve	$D_{ec} \leq D_e < 1.25 D_{ec}$	$v_L \leq v_R < 1.25 v_L$	$p \leq \delta < 1.25 p$	$q \leq \Delta\sigma < 1.25 q$	$r \leq \Delta\sigma/RMS < 1.25 r$	$s \leq \Delta\sigma/ECU < 1.25$
Moderado	$1.25 D_{ec} \leq D_e < 1.5 D_{ec}$	$1.25 v_L \leq v_R < 1.5 v_L$	$1.25 p \leq \delta < 1.5 p$	$1.25 q \leq \Delta\sigma < 1.5 q$	$1.25 r \leq \Delta\sigma/RMS < 1.5 r$	$1.25 s \leq \Delta\sigma/ECU < 1.5$
Alto	$D_e \geq 1.5 D_{ec}$	$v_R \geq 1.5 v_L$	$\delta \geq 1.5 p$	$\Delta\sigma \geq 1.5 q$	$\Delta\sigma/RMS \geq 1.5$	$\Delta\sigma/ECU \geq 1.5 s$

5.6. Medidas correctivas para atenuar o impacte ambiental geotécnico

5.6.1. Tratamento do terreno

É aplicável para solos ou terrenos muito fracturados e instáveis, para túneis de obras civis e urbanas, para melhorar as características resistentes do terreno, permitindo realizar a escavação em condições de segurança e obter um aceitável controle da água.

Para a aplicação de acções de tratamento do terreno precisa-se de estudos detalhados de investigação geológica, geotécnica e hidrológica.

As técnicas usadas são em função das características do terreno e podem ser de injecções ou congelação, abaixamento do nível freático com drenagem controlada e impermeabilização. Na Tabela 5.20 apresentam-se alguns parâmetros de dimensionamento importantes.

A injectabilidade relaciona-se com permeabilidade do solo (Tabela 5.21). Um desenvolvimento moderno nas técnicas de injecção é a injecção denominada *Jet Grouting*, aplicável para solos granulares a finos e com todos os compostos utilizados como: cimento e resinas (fig. 5.9).

Os equipamentos básicos usados para as injecções do cimento são: misturador coloidal, agitador, bomba, manómetros, medidores de caudal e mangueira.

Tabela 5.20 – Técnica de injecção no tratamento de solos (López Jimeno, C., 1997)

Cimento /água	Penetração de injecção				Pressão de injecção
	Tipo cimento	Permeabilidade (cm/s)	Tamanho d85 do cimento (mm)	Tamanho d15 do solo (mm)	
3/1	Portland normal	2.3×10^{-1}	0.0047	0.87	. Rochas débeis estratificadas: 0.025 Mpa/m de profundidade. . Rochas duras: 0.10 Mpa/m de profundidade. . Solos: função de porosidade, permeabilidade e outros Injectabilidade: . Em solos: $N_s = d_{15} \text{ solo} / d_{85} \text{ injecção}$ $N_s > 24$ injecção consistente $N_s < 11$ não é possível injecção . Em rochas: $N_r = \text{abertura de fatura} / d_{95} \text{ injecção}$ $N_r > 5$: injecção consistente $N_r < 2$: não é possível injecção
	Alta Resistência	1.3×10^{-1}	0.033	0.67	
	Fino coloidal	3.2×10^{-2}	0.019	0.38	
	Muito fino	3.5×10^{-3}	0.006	0.12	

5.6.2. Interação entre suporte e o maciço rochoso em escavações subterrâneas

1. *Método de convergência – confinamento da escavação:* A rotura do maciço rochoso que envolve uma abertura subterrânea, sucede quando a pressão do suporte p_i é inferior à pressão crítica do suporte P_{cr} , em função da resistência á compressão simples do maciço (σ_{cm}) e o factor k (considerada na equação 5.10). A pressão crítica é dada pela equação (5.38).

$$p_{cr} = \frac{2p_o - \sigma_{cm}}{1 + k} \quad (5.38)$$

Na hipótese da pressão do suporte (p_i) ser maior que a pressão crítica, não se da a rotura, portanto, o comportamento do maciço é elástico (fig. 5.10) e a deformação elástica radial μ_e é definida pela expressão (5.39).

$$\mu_e = r_o \left(\frac{1 + \nu}{E} \right) (p_o - p_i) \quad (5.39)$$

Tabela 5.21 – Capacidade de injeção

Permeabilidade (cm/s)	Capacidade de injeção
$10^{-1} - 10^{-2}$	Facilmente injectáveis
$10^{-3} - 10^{-4}$	Moderadamente injectáveis
$10^{-4} - 10^{-5}$	Marginalmente injectáveis
$< 10^{-5}$	Não injectáveis

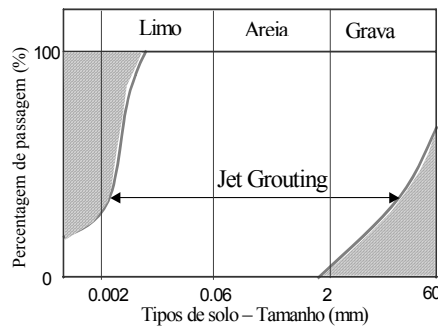


Figura 5.9 – Aplicação de Jet Grouting

em que, r_o é o raio da abertura subterrânea, ν é o coeficiente de Poisson do maciço, E é o módulo de Young ou de deformabilidade do maciço, p_o é a pressão hidrostática *in situ* (profundidade x massa volúmica do maciço) e p_i é a pressão do suporte.

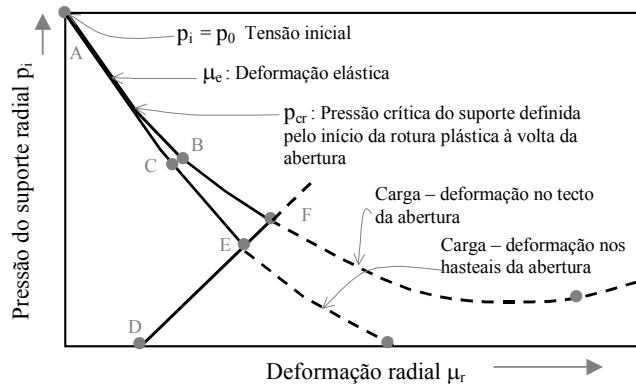


Figura 5.10 – Curva característica de uma escavação com suporte (Hoek, E., 1995)

Quando a pressão interna de suporte p_i é menor que a pressão crítica p_{cr} da-se a rotura e o raio da zona plasticificada circundante ao túnel r_p é dada pela equação (5.42).

$$r_p = r_o \left[\frac{2(p_o(k-1) + \sigma_{cm})}{(1+k)((k-1)p_i + \sigma_{cm})} \right]^{\frac{1}{k-1}} \quad (5.40)$$

Para o caso da rotura plástica, a deformação convergente total do perímetro da abertura subterrânea é expressa pela equação (5.41).

$$\mu_p = \frac{r_o(1+\nu)}{E} \left[2(1-\nu)(p_o - p_{cr}) \left(\frac{r_p}{r_o} \right)^2 - (1-2\nu)(p_o - p_i) \right] \quad (5.41)$$

Hoek, E. (2000), realiza estudos sobre a deformação do túnel em meio rochoso com suporte utilizando a análise da probabilidade de Montecarlo e obtém as equações (5.42) e (5.43).

$$\frac{r_p}{r_o} = \left[1.25 - 0.26 \left(\frac{p_i}{p_o} \right) \right] \left[\frac{\sigma_{cm}}{p_o} \right]^{\frac{p_i}{p_o} - 0.57} \quad (5.42)$$

$$\frac{\mu_p}{r_o} = \left[0.002 - 0.0025 \left(\frac{p_i}{p_o} \right) \right] \left[\frac{\sigma_{cm}}{p_o} \right]^{2.4 \frac{p_i}{p_o} - 2} \quad (5.43)$$

Existem também métodos de cálculo numéricos que exigem modelos de elementos finitos do maciço à volta da escavação, para resolver os problemas tensão – deformação mediante aplicação de programas, como o FLAC, PLAXIS, ANSYS, GDA, etc.

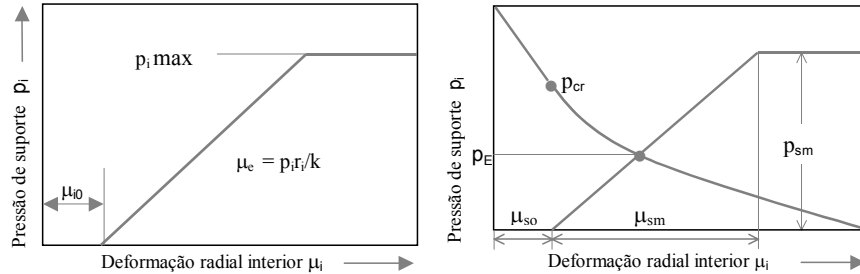


Figura 5.11 – Curva característica do suporte e deformação (Hoek e Brown, 1982)

Na prática os elementos de suporte aplicados numa escavação subterrânea não atingem a etapa plástica, pelo que a curva característica é similar a uma recta (fig. 5.11).

Um parâmetro característico do suporte é a rigidez K_s ($K_s = \sigma_{i \max} / \mu_s$), onde μ_s é o deslocamento máximo que o suporte pode admitir.

2. *Efeito da frente de escavação*: normalmente o suporte coloca-se a certa distância da frente de escavação, pelo que há um trecho sem suporte, em aparente

estabilidade até proceder a sua colocação. A frente de escavação exerce um efeito de confinamento cujo valor varia em função da distância ao sistema de suporte instalado, para o qual Panet estimar a variação da pressão radial que está indicada na figura 5.12.

3. *Factor de segurança*: uma correlação entre a pressão de suporte (p_i) e pressão hidrostática (p_o) permite calcular o factor de segurança F_s com a equação (5.44).

$$F_s = \frac{P_i}{P_o} \quad (5.44)$$

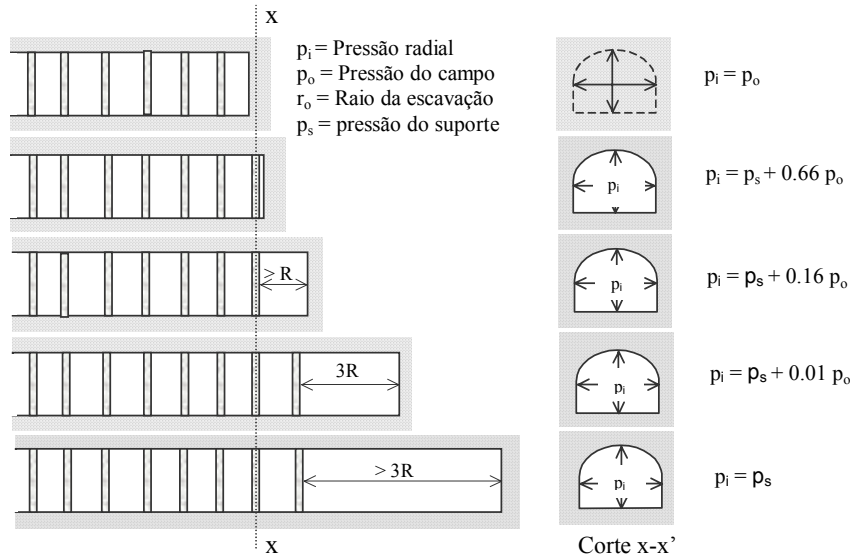


Figura 5.12 – Efeito da frente da escavação no suporte (Hoek e Brown, 1982)

5.6.3. Dimensionamento do suporte mediante o sistema Q

Uma primeira etapa de escolha dum sistema de suporte é realizada com base à caracterização geológica e geotécnica do maciço rochoso, para o qual se recomendam os seguintes passos:

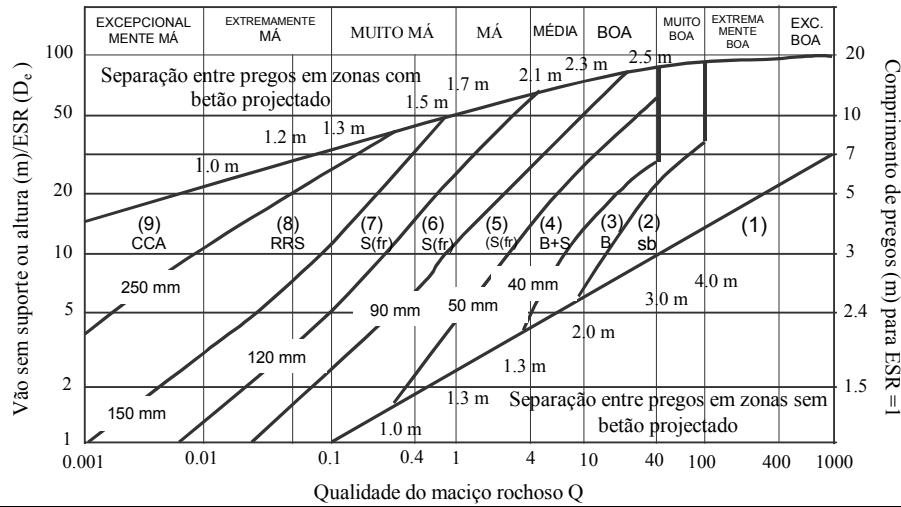
a) Calcular o índice Q (*Tunnelling Quality Index*) de Barton, Lien e Lunde, com base no índice RMR (*Rock Mass Index*) de Bieniawski, mediante a equação (5.45) ou noutro parâmetro.

$$Q = e^{\frac{RMR-44}{9}} \quad (5.45)$$

b) Determinar o índice ESR (*Excavation Support Ratio*) de Barton e calcular D_e (Dimensão Equivalente), com a equação (5.13).

c) Com os valores de Q e D_e determinar o tipo de suporte recomendável no ábaco (fig. 5.13) de Barton, N. e Grimstad, E. (2000) (O ábaco é uma actualização baseado em mais de 1050 registos de novos casos relativos aos principais túneis escavados na Noruega). Este procedimento possibilita a selecção de um tipo de suporte para um tipo de

rocha e tamanho da abertura incluindo a espessura do betão projectado, espaçamento entre pregos e comprimento destes.



Tipos de suporte	
(1) Sem suporte	(6) Betão projectado com rede de 90 – 120 mm e pregagem, S(fr)+B
(2) Pregagem pontual, sb	(7) Betão projectado com rede de 120 – 150 mm e pregagem, S(fr)+B
(3) Pregagem sistemática, B	(8) Betão projectado com rede > 150 mm com pregagem e estruturas metálicas, S(fr)+RRS+B
(4) Pregagem sistemática com betão projectado, 40 – 100 mm, B+S	(9) Revestimento com betão, CCA
(5) Betão projectado com rede de 50 – 90 mm e pregagem, S(fr)+B	

Figura 5.13 – Dimensionamento do sistema de suporte baseado em Q (Barton e Grimstad, 1993)

Observa-se na fig. 5.13 que, pelo efeito do arco do betão projectado, o espaçamento entre pregos é entre 20% a 40% maior quando é utilizado o betão projectado de que quando se usa sòmente pregagem.

Como exemplo, o suporte de classe 4 consiste em pregagem e betão projectado sem reforço, sempre que o tamanho dos blocos seja pequeno ($RQD/J_n < 10$). A espessura típica S (betão projectado sem rede metálica electrosoldada) situa-se entre 4 e 6 cm para túneis pequenos, onde o tamanho dos blocos (RQD/J_n) é limitado, embora, para grandes escavações com alturas significativas dos hasteais seja habitual utilizar até 10 cm de espessura, ainda que Q tenha valores, altos próximos de 30.

As classes de suporte 5, 6 e 7 consistem na aplicação de S(fr) com espessuras que variam de 7 a 15 cm, combinado com pregagem sistemática. Nestes casos, os espaçamentos dos pregos são os indicados na diagonal superior do gráfico. Estas classes de suporte podem também aplicar-se ao sistema de arcos metálicos RRS.

Os arcos armados reforçados com betão projectado RRS (classe de suporte 8), são necessários quando a espessura normal de S(fr) seja insuficiente para suportar as cargas,

ou quando a superfície da abertura é irregular. O reforço com RRS é muito flexível já que a espessura e o espaçamento dos arcos pode variar segundo as necessidades.

Em rochas excepcionalmente más e em escavações amplas, será necessário utilizar galerias temporais, pré-injecções e medidas de drenagem, usar o sistema de suporte RRS com revestimento de betão em secção completa CCA, reorçando-o placas de aço. O CCA pode variar de 0.30 até 1.0 m.

Tabela 5.22 – Método de selecção do suporte temporário dos hasteais usando valores do sistema Q (Barton, N. e Grimstad, E., 2000)

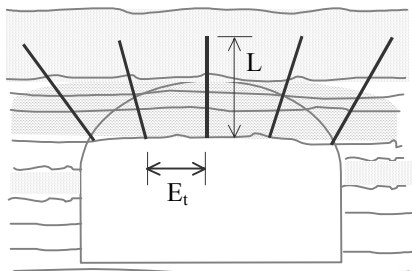
(1)	Suporte temporário	a) Aumentar o ESR até 1.5ESR b) Aumentar o índice Q até 5Q (no tecto) c) Aumentar Q_w até $5Q_w$
(2)	Suporte dos hasteais com Q modificado (Q_w)	a) Escolher $Q_w = 5Q$ (quando $Q > 10$) b) Escolher $Q_w = 2.5Q$ (quando $Q < 10$) c) Escolher $Q_w = 1.0Q$ (quando $Q < 0.1$)
(1): Utilizar a altura total da escavação (H) para o dimensionamento do suporte dos hasteais (2): Q representa a qualidade geral da rocha no tecto e hasteais do túnel		

O gráfico do sistema Q (fig. 5.13) foi desenvolvido especificamente para suporte do tecto das aberturas subterrâneas, mas pode ser utilizado para a selecção do suporte temporário aplicável nos hasteais, com Q modificado (Tabela 5.22).

5.6.4. Dimensionamento do suporte para escavações subterrâneas

Existem muitos métodos sobre procedimentos de dimensionamento de suporte, pelo que a seguir se apresentam as metodologias de dimensionamento mais usuais.

1. *Suporte com pregos*: o sistema de suporte com pregos, consiste em ancorar no interior da rocha uma barra de material resistente, que confere uma resistência à tracção e confina o maciço, aproveitando as suas características resistentes (fig. 5.14).



L: Comprimento do prego
 E_t : Espaçamento
 D: Diâmetro

Figura 5.14 – Esquema típico de suporte com pregagem

Com base no sistema RMR pode-se seleccionar um sistema de pregagem, utilizando a Tabela 5.23, onde também se considera betão projectado e estruturas de metal.

A carga de suporte P (kN) e a altura de sobrecarga de rocha H (m) podem-se determinar utilizando o índice RMR , massa volúmica da rocha ρ (kg/m^3) e largura da escavação subterrânea B (m), mediante as equações (5.46) e (5.47) proposta por Unal (1983).

$$P = \rho B \left(\frac{100 - RMR}{100} \right) \quad (5.46)$$

$$H = B \left(\frac{100 - RMR}{100} \right) \quad (5.47)$$

Tabela 5.23 – Sistemas de suporte, para um vão de 10 m, tensão vertical de 25 MPa (Hoek e Brown, 1982)

RMR	Escavação	Suporte		
		Pregos ($\phi=20$ mm)	Betão projectado	Estruturas de metal
81 - 100	3 m de avanço	Geralmente não requerem suporte e só ocasionalmente pregos		
61 - 80	1 a 1.5 m de avanço. Suporte a 20 m da frente	Comprim: 3 m E _i : 2.5 m Malha: ocasional Local: coroa	50 mm na coroa no caso de ser necessário	Não
41 - 60	Realce e bancada, 1.5 a 3 m de avanço. Suporte a 10m da frente	Comprim: 4 m E _i : 1.5 a 2 m Malha: em coroa Local: coroa - hasteais	50 a 100 mm na coroa, 30 mm nas hasteais	Não
21 - 40	Realce e bancada, 1 a 1.5 m de avanço. Suporte a menos de 10 m da frente	Comprim: 4 a 5 m E _i : 1 a 1.5 m Malha: coroa-hasteais	100 a 150 mm na coroa, 100mm nos hasteais	Ligeira nos hasteais, espaçados a 1.5 m
<20	Várias galerias, 0.5 a 1.5 m de avanço. Suporte contínuo.	Comprim: 5 a 6 m E _i : 1 a 1.5 m Malha: coroa - hasteais	150 a 200 mm na coroa, 150 mm nos hasteais e 50mm na frente	Médio nos hasteais e coroa, espaçados 0.75 m

O comprimento L e o espaçamento E calculam-se com as equações (5.48) e (5.49) propostas por Bieniawski (1992).

$$L = 2 + 0.15 \frac{B}{ESR} \quad \text{ou} \quad L = \frac{B}{3} \quad \text{ou} \quad L = B^{\frac{2}{3}} \quad (5.48)$$

$$E = \left(\frac{0.6P}{\rho B} \right)^{0.5} \quad (5.9)$$

Em rocha estratificada o peso máximo p_{max} que pode suportar um prego, para um factor de segurança S (1.5 – 3), espaçamento longitudinal E_l é dado pela equação (5.50).

$$p_{max} = S \cdot E_l \cdot E_1 \cdot H \cdot \rho \quad (5.50)$$

Um caso comum, corresponde à pregagem dum bloco de rocha de peso P_b , na hipótese de não existir coesão nas juntas individuais do bloco, para calcular o número de pregos requeridos N_p para uma força vertical F_v pode usar-se a equação (5.51).

$$N_p = \frac{S.P_b}{F_v} \quad (5.51)$$

Em terrenos plastificados a força axial F_a que um prego, de diâmetro D e resistência específica do aço σ_a , pode suportar é calculada através da equação (5.52).

$$F_a = \frac{\pi D^2}{4\sigma_a} \quad (5.52)$$

A força de aderência f_a de um prego com um comprimento de ancoragem L_a e aderência ao terreno τ calcula-se com a equação (5.53).

$$f_a = \pi D.L_a.\tau F_a \quad (5.53)$$

Ao admitir que entre prego e a rocha existe uma coesão c e um ângulo de atrito ϕ , a tensão tangencial τ , num modelo de Mohr-Coulomb, é expresso pela equação (5.54) e quando o terreno perder totalmente a coesão, a tensão tangencial que poderá suportar o prego obedece à equação (5.55).

$$\tau = c + \sigma.\text{tag}\phi \quad (5.54) \quad \tau = \sigma.\text{tag}\phi \quad (5.55)$$

2. *Betão projectado*: consiste em revestir o tecto e paredes da escavação subterrânea com uma camada de mistura de cimento e areia (fig. 5.15). Existem dois tipos básicos de betão projectado: mistura por via seca e mistura por via húmida, que são projectados a uma determinada pressão utilizando uma bomba.

As vantagens do betão projectado estão relacionadas à possibilidade da sua projecção, uma rápida consistência com uso de compostos aceleradores (4 a 8 horas), uma boa vida útil e um baixo custo.

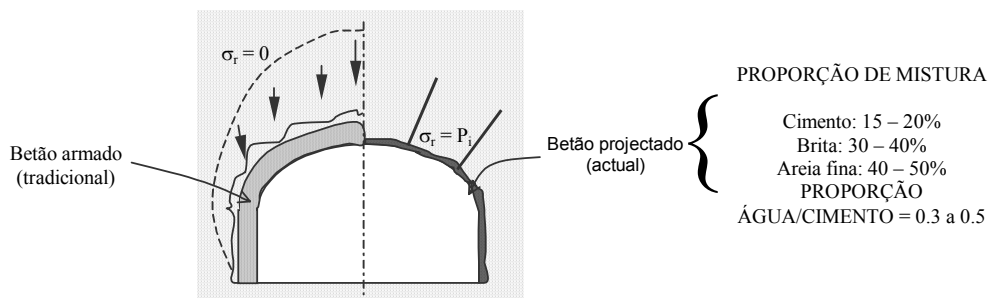


Figura 5.15 – Esquema de suporte de betão projectado, comparado com betão armado

Na Tabela 5.24 apresenta-se as misturas típicas de betão projectado e as respectivas propriedades (Hoek e Brown, 1982).

3. *Suporte com estruturas metálicas*: é o tipo de suporte clássico e ainda utilizada actualmente. Caracteriza-se por possuir a vantagem de ser resistente aos esforços de tracção e compressão, podendo suportar elevados momentos de flexão. As formas típicas utilizadas são as indicadas na fig. 5.16. Pode-se ver que a forma ideal corresponde à circular fechada.

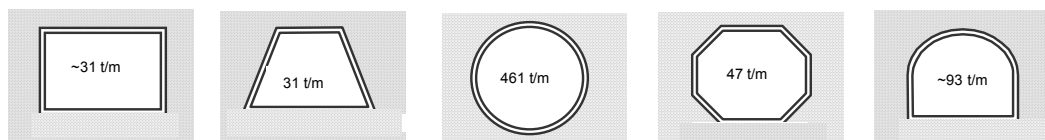


Figura 5.16 – Formas típicas de suporte com estruturas metálicas (López Jimeno, C., 1997).

Tabela 5.24 – Misturas típicas de betão projectado e as suas propriedades (Hoek e Brown, 1982)

Projecto	Materiais		Mishura (%)				Resistência à compressão (MPa)				Módulo de elasticidade (GPa)					
	Húmida ou seca	tipo de cimento	máx. do agregado	Cimento	Agregado grosso	Agregado fino	Areia	Água	1 - 3 horas	3 - 8 horas	1 dia	28 dias	6 - 7 horas	1 dia	3 - 8 dias	28 dias
Vancouver tunnel	seca	I	19	16.6	23.0	21.7	38.7		3.7-4.1	6.9-18.6	16.3-32.3					
Illinois Institute on shotcrete	seca	III	13	13.5	31.5		55.0		0.4-1.3	0.4-5.2	14.9	27.8				
University Illinois	seca	III	13	17.9	29.9		52.2		0.76-3.45	3.45-10.7	20.3	29.6	4.0-7.1	13.6-23.4	18.8-21.3	17.8-23.1
New Melones Dam	seca	I	9	18.4	41.4		40.2			4.96-6.37		27.6-41.4	6.2-15.9		21.4-50.3	
Hecla Mining Co.	Húm.	II	13	15.8	34.5	41.3		8.4		3.7-4.1	6.9-18.6	16.3-32.3			17.2-23.9	19.7-27.5
Waterway Experimentation	Húm.	II	19	16.3	30.8		44.8	8.1				57.7				
Illinois Institute on shotcrete	Húm.	III	13	16.7	27.9		48.7	6.7	0-1.17	1.17-5.59	18.9-20.3	33.3-39.4		12.3-28.0	22.3-27.0	23.8-35.9
Henderson mine	Húm.	I	9	17.8	27.4		54.8									

Os perfis são os elementos usados para a construção das estruturas e podem trabalhar a esforços de compressão, torção e flexão. Estes esforços podem-se calcular mediante as equações (5.56), (5.57) e (5.58).

$$M_f = W_x \cdot \sigma_p \quad (5.56)$$

$$W_x = \frac{I_x}{d} \quad (5.57)$$

$$W_y = \frac{I_y}{d} \quad (5.58)$$

em que, M_f é o momento de flexão, e W_x , W_y são os módulos que representam a capacidade do perfil de resistir aos esforços de flexão normais ao plano do perfil, σ_p é a resistência do perfil, I_x , I_y são os momentos de inércia segundo os seus eixos principais e d a distância do eixo neutro à fibra mais afastada da viga em flexão. Os momentos de inércia permitem determinar a secção do perfil requerido no suporte (Tabela 5.25).

Tabela 5.25 – Dimensões e propriedades dos perfis H (baseado em López Jimeno, C., 1997)

Tamanho normal	89x89	102x102	114x114	127x114	152x127
Altura da secção (mm)	88.9	101.6	114.3	127.0	152.4
Largura da secção (mm)	88.9	101.6	114.3	114.3	127.0
Massa da secção (kg/m)	19.35	23.07	26.79	29.76	37.20
Área da secção (cm ²)	24.9	29.4	34.4	37.3	47.5
I_x (cm ⁴)	306.7	486.1	735.4	979.0	1818.0
I_y (cm ⁴)	101.1	154.4	223.1	241.9	378.8
R_x (cm)*	3.51	4.06	4.62	5.12	6.20
R_y (cm)*	2.01	2.29	2.54	2.55	2.82
E_x (cm ³)**	82.7	113.4	151.2	180.9	278.6
E_y (cm ³)**	38.03	50.70	65.63	70.85	99.85

* Raio de rotação, ** Módulo de plasticidade

4. *Suporte com pilar de maciço rochoso*: uma forma de evitar o desabamento de rochas em aberturas subterrâneas é mediante pilares do próprio maciço rochoso (fig. 5.17).

O processo de dimensionamento de pilares do maciço rochoso recomendado por Bieniawski (1992) consiste em:

1. Baseado no testemunho de 54 mm de diâmetro, realizar ensaios de compressão uniaxial em laboratório σ_c e com diâmetro D da amostra, utilizando a equação de Gaddy (5.59), calcular o valor de K . Este valor varia de 1640 a 10600 com uma média de 6120, mas é conveniente realizar o cálculo para cada caso.

$$K = \sigma_c D^{0.5} \quad (5.59)$$

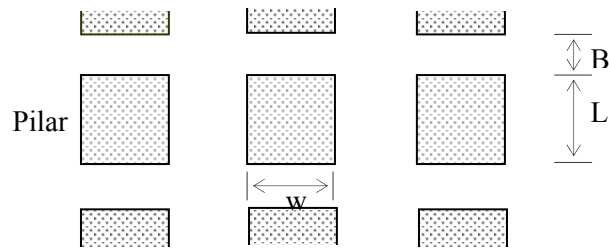


Figura 5.17 – Elementos geométricos de um sistema de suporte mediante pilares de maciço

2. Determinar o esforço do pilar σ_p usando a equação de Bieniawski (5.20), que se encontra em função do esforço de compressão uniaxial σ_l , largura do pilar B , e altura do pilar H .

3. Determinar a carga no pilar S_p com a equação (5.60), em função da largura da escavação B (câmara), comprimento do pilar L e profundidade existente desde superfície até a escavação H .

$$S_p = 1.1H \left(\frac{w+B}{w} \right) \left(\frac{L+B}{w} \right) \quad (5.60)$$

4. Com o factor de segurança F_s que normalmente varia de 1.5 a 2.0, avaliar o resultado do cálculo do pilar para a largura w , mediante equação (5.61).

$$S_{p'} = \frac{\sigma_p}{F_s} \quad (5.61)$$

5. Se a escavação subterrânea é para fins de exploração dum jazigo mineral, com as considerações económicas avaliar, a percentagem de recuperação (%) com a equação (5.62).

$$e = 1 - \left(\frac{w}{w+B} \right) \left(\frac{L}{L+B} \right) \quad (5.62)$$

6. No caso da percentagem de recuperação não ser aceitável, precisa-se de aumentar com o decréscimo da largura do pilar w , seleccionando com o passo 5 a largura e comprimento que satisfaça a recuperação requerida dentro do limite das condições de estabilidade do maciço. Esse requisito calcula-se através da a relação do factor de segurança expressa pela equação (5.64).

$$F_s = \frac{\sigma_p}{S_p} \quad (5.64)$$

Um procedimento prático para a estimação da capacidade de suporte é realizado usando as equações de Brady e Brown (1995) (Tabelas 5.26, 5.27 e 5.28). As pressões de suporte obtidas são para secções circulares, pelo que, precisa-se de ter certas precauções.

Tabela 5.26 – Estimação da capacidade de suporte de perfis de aço (Hoek, E., 2000)

Tipo de suporte	Largura da aba	Altura do perfil	Peso (kg/m)	p_{\max} de suporte (MPa), D* e S**
Cercha (H) IPN	305	305	97	$p_{\max} = 19.9D^{-1.23/S}$
	203	203	67	$p_{\max} = 13.2D^{-1.3/S}$
	150	150	32	$p_{\max} = 7.0D^{-1.4/S}$
Cercha (H) HEB	203	254	82	$p_{\max} = 17.6D^{-1.29/S}$
	152	203	52	$p_{\max} = 11.1D^{-1.33/S}$
Cercha (U) TH	171	138	38	$p_{\max} = 15.5D^{-1.24/S}$
	124	108	21	$p_{\max} = 8.8D^{-1.27/S}$

* D: diâmetro da abertura subterrânea, ** S: espaçamento das cambotas

Tabela 5.27– Estimação da capacidade de suporte com sistema de pregagem (Hoek, E., 2000)

Tipo de prego	Equação de p_{\max} de suporte (MPa)	Tipo de prego	p_{\max} de suporte (MPa) e S**
Pregos de 34 mm	$p_{\max} = 0.354/S^2$	SWELLEX EXX	$p_{\max} = 0.11/S^2$
Pregos de 25 mm	$p_{\max} = 0.267/S^2$	B. Resina 20 mm	$p_{\max} = 0.17/S^2$
Pregos de 19 mm	$p_{\max} = 0.184/S^2$	F. de vidro 22 mm	$p_{\max} = 0.26/S^2$
Pregos de 17 mm	$p_{\max} = 0.10/S^2$	Cabo plano	$p_{\max} = 0.15/S^2$
SPLITSET SS39	$p_{\max} = 0.05/S^2$	C. gaiola de pássaro	$p_{\max} = 0.30/S^2$

Tabela 5.28 – Estimação da capacidade de suporte com betão projectado (Hoek, E., 2000)

Espessura (mm)	Tempo (mm)	Resistência à compressão simples	p_{\max} de suporte (MPa) e D**
1 m	28	35	$p_{\max} = 57.8D^{-0.92}$
300	28	35	$p_{\max} = 19.1D^{-0.92}$
150	28	35	$p_{\max} = 10.6D^{-0.97}$
100	28	35	$p_{\max} = 7.3D^{-0.98}$
50	28	35	$p_{\max} = 3.8D^{-0.99}$
50	3	11	$p_{\max} = 1.1D^{-0.97}$
50	0.5	6	$p_{\max} = 0.6D^{-1.0}$

5.7. Monitorização e controle geotécnico

Está relacionado com a observação sistemática na etapa da execução da escavação, diagnóstico de situações anómalas e decisões no que respeita a tomada de medidas para resolução de problemas identificados. A instrumentação é um meio determinante no processo da monitorização e controle geotécnico.

Na monitorização e controle é imprescindível usar equipamentos que permitam efectuar medições de deslocamentos relativos, rotações, pressão da água, variação de tensões e orientação dos furos.

A selecção dos equipamentos geralmente está relacionada com aspectos de eficiência, compatibilidade com os objectivos e aspectos operacionais, tais como:

- Funcionalidade dos aparelhos com as condições de tamanho e condições geotécnicas da rocha hospedeira;
- Adaptabilidade às condições de construção do ambiente subterrâneo, sem gerar perturbações no local de instalação;
- Fiabilidade e precisão adequadas;
- Robustez e baixa manutenção;
- Automatização na captação do comportamento geotécnico do maciço, registo, leitura e transferência de dados mediante sistemas electrónicos;
- Custo razoável e compatível para o tipo de escavação subterrânea.

São usados diversos instrumentos para a monitorização geotécnica do ambiente subterrâneo (fig. 5.18) (Ribeiro e Sousa, 2001). Entre os mais usados estão os convergenciómetros, que existem de muitos tipos e medem a variação de distâncias entre dois pontos na parede da escavação, revestimento ou suporte, em direcções horizontais, verticais e/ou inclinadas.

Para medições de pressão transmitidas pelo terreno e de tensões instaladas nos suportes de betão, usam-se células hidráulicas do tipo Glotzl ou de Geosistemas.

Para medições de deformações nos suportes e, conseqüentemente, de tensões utilizam-se também extensómetros de resistência ou de corda vibrante. Para medições de tensões, pode ainda usar-se almofadas planas de pequena área.

As forças em ancoragens, para medir o pré-esforço, utilizam-se as células de pressão.

A monitorização da água faz-se com os piezómetros e os indicadores de nível de água. Os mais conhecidos são os do tipo báscula, em que a água entra por um funil para atingir um pequeno reservatório e quando este se encontra cheio, báscula estabelecendo permite um contacto eléctrico que constitui informação automática.

Os piezómetros eléctricos de corda vibrante, de leitura automática, são também recomendáveis para monitorização subterrânea.

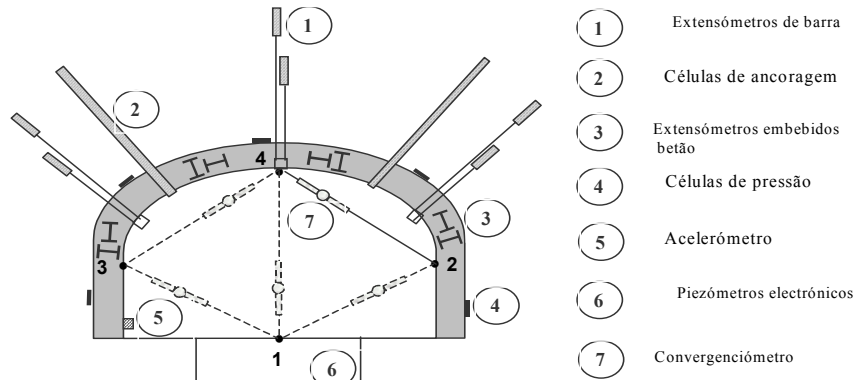


Figura 5.18 – Posição dos equipamentos para a monitorização geotécnica (baseado em Ribeiro e Sousa, 2001)

A gestão do maciço rochoso na engenharia do ambiente subterrânea deve ser um processo sistemático e sequencial (fig. 5.19) de modo que as alterações geotécnicas, provocadas pelas escavações subterrâneas, sejam controladas. Para isso, é necessário contar com informação geotécnica consistente e fiável, para prever o nível de impacte ambiental geotécnico, procurar medidas preventivas e correctivas, aplicá-las e realizar um acompanhamento com instrumentação, amostragem e observação *in situ* para o reajuste constante dos parâmetros geotécnicos.

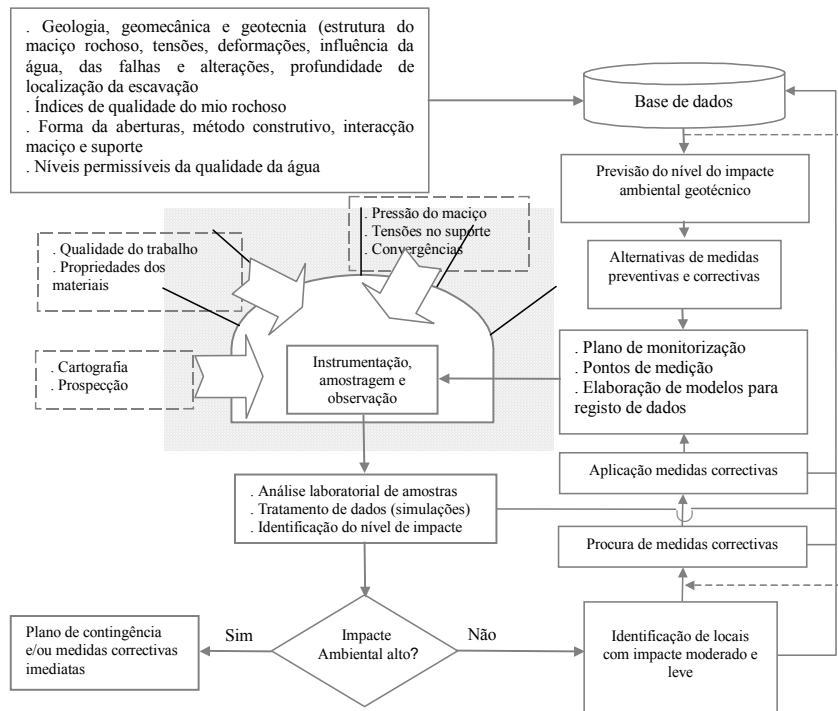


Figura 5.19 – Metodologia de gestão do maciço rochoso na engenharia do ambiente subterrânea

Capítulo 6

ECONOMIA DO AMBIENTE SUBTERRÂNEO

6.1. Custo ambiental na indústria mineira

6.1.1. Custo da conservação ambiental na indústria mineira

Uma gestão ambiental baseada na qualidade e eficiência ambiental na indústria mineira, deve considerar os custos ambientais em cada uma das operações unitárias do processo produtivo mineiro, desde a avaliação dos impactos ambientais, a prevenção e protecção ambiental, a monitorização e inclusivamente a participação da comunidade.

Os custos ambientais na mineração variam em função dos factores operacionais, das diferenças físicas e geológicas, dos métodos de exploração (céu aberto ou subterrâneo), dos métodos de prevenção e dos métodos de protecção ambiental.

O custo ambiental global na indústria mineira, em alguns países (Austrália) é próximo de 5% do investimento total de novos projectos (*Commonwealth of Australia*, Agosto 2002).

Cordner, J. P., (1980) estima o custo ambiental de diferentes sectores na Austrália (Tabela 6.1), determinando para a indústria de Carvão, Aço e Alumínio um custo de controle ambiental entre 23%, 13% e 10% respectivamente, com um valor médio de 12.5%, dos sectores considerados.

Tabela 6.1 – Custo de controle ambiental da indústria na Austrália (Cordner, J. P., 1980)

Industria	Custo de controle ambiental % do capital total
Alimentos, bebidas e tabaco	9
Têxtil, roupa e calçados	7 – 8
Química, petróleo e carvão	23
Aço	13
Alumínio	10

Nos Estados Unidos da América, segundo Huisingh, D., *et al*, (1982) o investimento em tecnologia limpa para a protecção ambiental no sector mineiro (Tabela 6.2) varia de 10% a 13%.

Tabela 6.2 – Investimento na tecnologia limpa de distintas indústrias nos E.U.A. (% do investimento total) (Huisingh, D., *et al*, 1982)

Industria	1979	1980	1981
Aço	8	7	9
Mineração	10	13	13
Metais não ferrosos	15	18	14
Pedreiras e argila	15	21	24
Química	18	15	15
Borracha	20	33	20
Maquinaria, excepto eléctrica	23	21	23
Papel	28	19	17
Alimentos e bebidas	33	33	27

Tabela 6.2 (cont.) – Investimento na tecnologia limpa de distintas indústrias nos E.U.A. (% do investimento total) (Huisingh, D., et al., 1982)

Industria	1979	1980	1981
Fábrica de metais	33	20	35
Maquinaria eléctrica	36	31	25
Têxtil	40	57	37
Gás	60	67	57

6.1.2. Custo ambiental subterrâneo

O custo ambiental subterrâneo varia em função das condições locais, físicas, geológicas, tipo de jazigo, profundidade, método de exploração, nível de mecanização, grandeza da produção, entre outros parâmetros.

Em relação ao custo de protecção ambiental, relacionado com o ar da atmosfera subterrânea, é possível referenciar quatro minas subterrâneas em diversas condições (Tabela 6.3 e Tabela 6.4), variando o custo de 0.41 €/t a 1.96 €/t.

O custo de redução das emissões de motor diesel no ambiente subterrâneo, é de 8 a 12 €/hp para oxidação catalítica, de 30 a 50 €/hp para filtros de emissão de partículas e de 50 €/hp para redução catalítica selectiva (*Diesel Emission Evaluation Program DEEP*, 2002, www.deep.org e *Manufactures of Emission Controls Association MECA*, 2000). Com este custo, a vida útil do equipamento e o rendimento horário, pode-se determinar o custo por tonelada de mineral.

Tabela 6.3 – Minas subterrâneas da Indonésia, Portugal e Peru

Mina	Lugar	Metal	Método	Produção (t/dia)
DOZ Mine*	Indonésia	Cobre	Block Caving	25000
Neves Corvo	Portugal	Cobre	Bench and Fill	6500
San Rafael	Peru	Estanho	Sub Level Stopping	2500
Panasqueira	Portugal	Volfrâmio	Room and Pillar	2000

* Calizaya, F. et al., 2002.

Tabela 6.4 – Custos de protecção ambiental do ar da atmosfera subterrânea

Mina	Pais	Caudal de ar (m ³ /s)	Custo de operação		
			(€/ano)	€/t	m ³ ar/€
DOZ Mine	Indonésia	1040	2307800	0.41	8761
Neves Corvo	Portugal	837	1245618	0.85	13058
San Rafael	Peru	235	1102896	1.96	3828
Panasqueira	Portugal	114	644544	1.43	52712

O custo de controle da emissão do gás NO_x pelo motor diesel no ambiente subterrâneo, EPA de E.U.A. estimam 2564 € para o ano 2007 com motores médios, com redução a 1412 € para 2012 e, para motores maiores o custo será de 3227 € em 2007 e de 1866 € em 2012 (EPA420-R-00-028, 2000).

Os custos para o controle do caudal de água variam em função das condições de operação, vida útil da bomba, dimensão das bombas, tipo e custo de energia. Na Tabela 6.5 apresentam-se os custos de bombagem de água para potências de motor de 35, 75, 100, 125, 150 e 200 hp, que consideram o valor de aquisição de motor, custos de

reparação e manutenção, consumo de energia e vida útil do equipamento (Thomson, J. *et al.*, 2002).

Thomson, J. *et al.*, (2002) recomenda utilização do factor de correcção em função do tempo de operação anual (Tabela 6.5), de modo que, para obter o custo total deve-se multiplicar os custos indicados com os factores da Tabela 6.6.

Tabela 6.5 – Custos de bombagem de água por ano (Thomson, J., *et al.*, 2002)

c€/kW.h	35 hp	75 hp	100 hp	125 hp	150 hp	200 hp
5.0	€2400	€4500	€5900	€7200	€8500	€11200
5.5	2600	4900	6300	7800	9200	12100
6.0	2800	5300	6800	8400	10000	13100
6.5	2900	5600	7300	9000	10700	14100
7.0	3100	6000	7800	9600	11400	15000
7.5	3300	6400	8300	10200	12100	16000
8.0	3500	6700	8800	10800	12900	17000
8.5	3600	7100	9300	11400	13600	17900
9.0	3800	7500	9800	12000	14300	18900
9.5	4000	7800	10200	12700	15100	19900
10	4200	8200	10700	13300	15800	20800
11	4500	8900	11700	14500	17200	22800
12	4900	9700	12700	15700	18700	24700
13	5200	10400	13700	16900	20100	26600
14	5600	11200	14600	18100	21600	28600
15	5900	11900	15600	19300	23100	30500
16	6300	12600	16600	20500	24500	32400
17	6600	13400	17600	21800	26000	34400
18	7000	14100	18500	23000	27400	36300
19	7300	14800	19500	24200	28900	38200
20	7700	15600	20500	25400	30300	40200
21	8100	16300	21500	26600	31800	42100
22	8400	17000	22400	27800	33200	44000

Os custos de predição da drenagem ácida de águas subterrâneas dependem do tipo e método de ensaio a realizar (Tabela 6.7). Os testes estáticos têm um custo menor (23 a 170 €) que os cinéticos (100 a 3500 €). O tratamento das águas ácidas da mina depende da técnica utilizada. Por exemplo, em UK, estudos realizados ao longo de 3 anos na mina Whel Jane (Tabela 6.8), mediante a utilização de cal, mostra um custo de operação anual de 1196.8 € por ano (Tabela 6.9) e um custo de capital de 2.4 milhões de euros para uma capacidade instalada de 300 l/s.

Tabela 6.6 – Factor de correcção devido ao tempo de operação anual (Thomson, J. *et al.*, 2002)

Horas/ano	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400
Factor	0.67	0.83	1.00	1.177	1.33	1.50	1.67	1.83	2.00

Tabela 6.7 – Custo de predição da drenagem ácida de águas subterrâneas (U.S. EPA 530-R-94-036, 1994)

Testes Estáticos		Testes dinâmicos	
Método	€	Método	€
Acid Base Accounting	34-110	BC Research Confirmation Test	300
Modified Acid Base Accounting	34-110	Shake Flasks	1500-3500
BC Research Initial	65-170	Sokhelet Reactor	425-850
Alkaline Production Potential: S	34-110	Humidity Cell	100-500
Net Acid Production	25-68	Columns/lysimeters	500-1500

Tabela 6.8 – Condições de aplicação do tratamento da drenagem ácida na mina de Wheal Jane UK, em ppm, excepto pH (McGinness, S., 1999)

Poluente	1992 ^(a)	1995 ^(b)
pH	2.6-3.1	3.5
Al	170-197	30
As	26-29	9
Cd	1.4-1.9	1
Cu	14-18	1.5
Fe	1720-1900	300
Mn	11-25	12
Zn	1260-1700	120

(a) Hamilton *et al*, 1996, (b) Dodds-Smith *et al*, 1995

Tabela 6.9 – Custo de operação anual da planta de tratamento de águas ácidas com cal na mina Wheal Jane UK (McGinness, S., 1999)

Detalhe	Consumo	Preço Unitário	Custo anual
Capacidade instalada			300 l/s
Razão de tratamento			155 l/s
Electricidade	0.38 KWh/m ³	0.0288€/m ³	140 €
Cal	0.87 Kg/m ³	0.0928€/m ³	456 €
Floculante	3 g/m ³	0.0096€/m ³	43.2 €
Água e vários		0.0288€/m ³	144 €
Manutenção		0.0192€/m ³	96 €
Deposição de lamas		70€/t sêcas	316.8 €
TOTAL		0.243€7m ³	1196.8 €

Tabela 6.10 – Diferentes condições de águas ácidas de mina (<http://www.osmre.gov/osm.htm>)

Condição	Caudal (l/s)	Acidez (mg/l)	Fe (mg/l)	Tempo (anos)
1	3.15	100	5	3
2	6.30	250	10	5
3	15.77	500	100	5
4	31.52	1000	300	10

Tabela 6.11 – Custos de tratamento de águas ácidas da mina em € com 6% de juros anual (<http://www.osmre.gov/osm.htm>).

Condição 1				
Detalhe	Cal hidratada	Soda Ash*	Soda Caustica	Amónia**
Instalação	2500	4000	2500	15000
Reparação	3300	0	0	1000
Reagente	10000	500	500	5000
Valor residual	526	3016	4289	1116
Total	10038	4355	5068	6157
VPN	26832	11641	13546	16458
Condição 2				
Instalação	35000	4000	2500	15000
Reparação	3400	0	0	1000
Reagente	12500	500	750	4000
Valor residual	2631	15079	21447	5580
Total	12123	15940	22051	9432
VPN	51067	67144	94784	39731
Condição 3				
Instalação	50000	-	7500	15000
Reparação	3500		0	1000
Reagente	15000		1000	3000
Valor residual	13158		107237	27904
Total	25867		108840	31931
VPN	108963		458474	134510
Condição 4				
Instalação	80000	-	7500	15000
Reparação	4000		0	1000
Reagente	20000		1000	2500
Valor residual	52634		428948	111614
Total	67351		429892	114461
VPN	495712		3164040	842454

* Carboneto de sódio , ** Anidrido de amónia

Os custos de tratamento de águas ácidas de minas dependem da quantidade e qualidade destas águas e da tecnologia utilizada. Na Tabela 6.10 apresentam-se as condições e características de quatro métodos (reagentes) de tratamento, com os custos que se apresentam na Tabela 6.11, determinados por *Department of the Interior-Office of Surface Mining* de E.U.A. (<http://www.osmre.gov/osm.htm>).

Estudos realizados por *Agriculture & Natural Resources Development of West Virginia University* (2001) concluem que os custos totais de tratamento de águas ácidas de minas mediante uso de Amónia, CaO e NaOH, resultam os indicados na Tabela 6.12.

A tabela mostra que o tratamento químico baseado em CaO representa 37% do custo do tratamento com amónia e 16% do custo com soda cáustica.

6.2. Processo do plano de protecção e o custo ambiental

A estimação do custo ambiental e, em particular, do ambiente subterrâneo (a nível de detalhe), precisa da compreensão em relação à aplicação de normas legais e

conceitos relacionados com a engenharia de custos, aplicáveis num plano de protecção ambiental.

Tabela 6.12 – Custos de tratamento químico de águas ácidas (baseado em *Agriculture & Natural Resources Development de West Virginia University, 2001*)

Técnica	<i>Northern West Virginia</i>	Southern West Virginia		Clay County
	€/l	€/l	€/ano	€/ano
Amónia	0.00037	-	-	2328
CaO	0.00014	0.00003	14000	1534
NaOH	-	0.00018	87000	5369

A fig. 6.1 mostra as fases, documentos chave, pontos de decisão e acções que se devem realizar num plano de protecção ambiental.

A *investigação sobre processos de protecção (IPP)* e *estudo de detalhe (ED)* são usados na recolha da informação necessária à selecção de um processo de protecção ambiental que se encontre dentro das exigências dos padrões e leis em vigor.

O IPP inclui a amostragem e análise para caracterizar a natureza e extensão da contaminação; a avaliação de riscos futuros, actuais e potenciais em relação à saúde humana e ao ambiente; a avaliação da eficácia das tecnologias do tratamento ou da recuperação para reduzir a toxicidade, a mobilidade ou o volume de substâncias perigosas ou contaminados (EPA E.U.A., 40 CFR Part 300).

O *Estudo de Detalhe (ED)* consiste em duas fases principais: a) Desenvolvimento e selecção de alternativas de medidas correctivas; b) Comparação de cada alternativa, que consiste numa análise detalhada, para seleccionar a mais viável. Uma escala de alternativas de acção correctiva é desenvolvida durante o ED, com dados disponíveis da caracterização do local na IPP, ajudando a reduzir as incertezas relacionadas a custos e desempenho de alternativas de tratamento (Role Cost, EPA E.U.A., 1996)

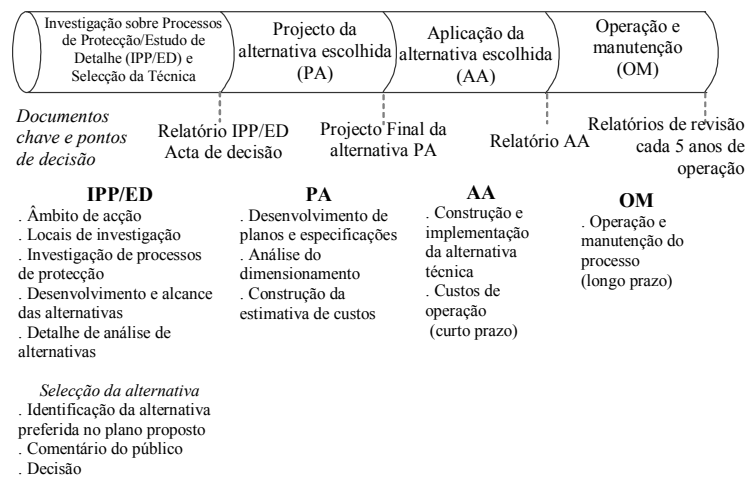


Figura 6.1 – Fases, acções e documentos chave de decisão, no plano de protecção ambiental (EPA 540-R-00-002 -OSWER 9355.0-75, 2000)

Durante a selecção do processo de protecção ambiental, deve-se identificar uma alternativa preferida, apresentada num plano proposta e documentar para a opinião pública.

Mapas, especificações e outros documentos do processo de tratamento, são necessários para desenvolver durante o projecto de detalhe da medida correctiva (PA), para a acção ou execução da medida correctiva (AA) e para a operação e manutenção do processo (OM).

6.3. Custos de protecção ambiental

A Associação para o Avanço da Engenharia do Custo (AACE), que tem um carácter internacional, define uma estimativa de custo, como a avaliação de todos os custos das componentes dum projecto (AACE, 1990).

A variação (Δ) de custos de protecção ambiental de um projecto é influenciada pelos diversos factores intervenientes na definição do projecto (fig. 6.2).

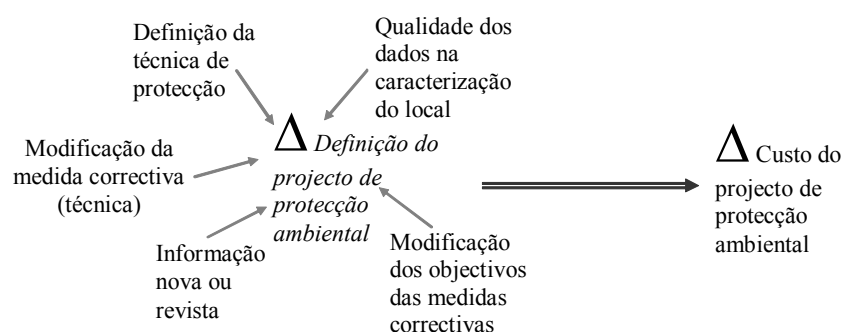


Figura 6.2 – Relação entre a definição do projecto e estimativa de custos de protecção ambiental

Para a estimacão do custo total de protecção ambiental devem-se considerar os seguintes custos: custo de capital, custo anual de operação e manutenção, custos periódicos (fig. 6.3) e finalmente, realizar a análise do Valor Presente.

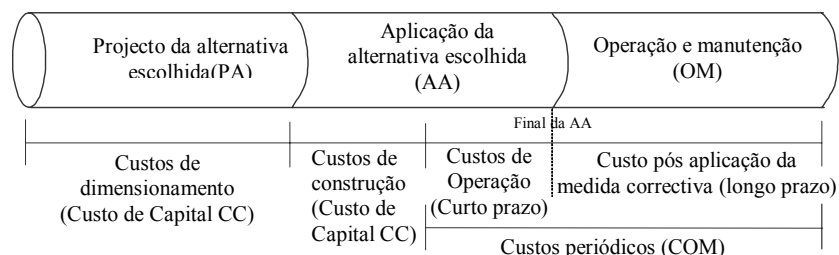


Figura 6.3 – Custos durante as fases de protecção ambiental

6.3.1. Custos de capital (CC)

São aquelas despesas para construir ou instalar a medida correctiva e são requeridas para a poder manter em acção toda a sua vida (por exemplo, construção de sistemas de tratamento das águas ácidas, ventiladores de ar, sistema de suporte, etc.).

Os custos de capital incluem o trabalho, equipamentos, materiais, trabalho dos empreiteiros, despesas gerais associadas com as actividades tais como: mobilização/desmobilização; monitorização; trabalho no local; instalação da extracção do poluente ou dos sistemas de tratamento ou eliminação; custos para os serviços de profissionais/técnicos que são necessários para a construção da medida correctiva (Tabela 6.13).

6.3.2. Custos anuais de operação e manutenção (COM)

São os custos de pós construção necessários para assegurar ou verificar a eficácia contínua da medida correctiva. Estes custos são estimados na maior parte dos casos com base *anual* e incluem: todos os trabalhos; equipamentos e custos de materiais; trabalho de empreiteiros; despesas gerais; custos associados com as actividades tais como a monitorização; extracção ou sistemas de tratamento ou eliminação. Os custos anuais do COM incluem também despesas para os serviços de profissionais/técnicos necessários (Tabela 6.14).

Tabela 6.13 – Elementos do custo de capital CC e descrição de actividades

Elementos do custo	Descrição
1. Equipamentos primários e auxiliares	Aquisição de equipamentos primários e secundários. Materiais necessários.
2. Mobilização e desmobilização . Equipamentos de construção . Implementação . Facilidades temporárias . Manuais de operação, etc.	Transporte do equipamento e do pessoal para o local (mobilização) ou remoção (desmobilização) para construir ou instalar a acção correctiva. Incluem preparação da construção, aspectos de facilidades e de utilidades provisórias.
3. Monitorização, amostragem, testes e análise	Provas, testes, análises <i>in situ</i> ou fora do local, tratamento de dados, e garantia do controle de qualidade. Inclui a monitorização para avaliar os aspectos legais.
4. Local de trabalho . Demolição, terraplanagem . Acessos . Serviços e facilidades, etc.	Actividades para construir a infra-estrutura necessária para o projecto (isto é, preparação do local). Inclui também melhorias e a restauração permanente das áreas. O trabalho é geralmente de limpeza de modo que não existe nenhum contacto com meios ou materiais contaminados. Exclui tudo relacionado com o trabalho de construção ou de instalação de alguma facilidade no local.
5. Colheita de água superficial . Bombagem, drenagem . Valetas, canais . Tanques, bacias, barragens	Colheita da água de superfície contaminada. Exclui o transporte e tratamento fora do local, ou o tratamento ou eliminação da água de superfície contaminada.
6. Extracção ou colheita de águas subterrâneas . Bombagem, drenagem . Valetas, tubos e tanques, etc.	Extracção ou contenção da água subterrânea contaminada. Exclui o transporte ou tratamento fora do local.

Tabela 6.13 (cont.)– Elementos do custo de capital CC e descrição de actividades

Elementos do custo	Descrição
7. Colheita de poeiras e gases provenientes das operações, rocha e equipamentos	Colheita de poeiras de rochas e emissões diesel, gases tóxicos, explosivos ou inflamáveis, de rochas e de emissões diesel. Gás de detonações ou disparos nos desmontes
9. Escavação de solos . Escavação e remoção . Deposição, etc.	Escavação e remoção do solo contaminado. Exclui o tratamento ou transporte fora do local.
10. Remoção de sedimentos e lama . Escavação, remoção . Deposição, etc.	Remoção ou contenção de sedimento ou lama contaminada. Exclui transporte e tratamento fora do local.
11. Demolição e remoção . Tambores, tubos, tanque, etc.	Demolição e remoção de materiais ou de estruturas contaminadas ou perigosas. Exclui o tratamento ou transporte fora do local.
12. Pessoal profissional e técnico . Gestão do projecto . Projecto da medida correctiva . Gestão da construção, etc.	Serviços para suporte legal, da opinião pública, etc. para a construção/instalação da acção correctiva. Serviços para projectar a acção correctiva, incluem colecção dos dados. Serviços para controlar a construção/instalação da acção correctiva.
13. Controle institucional, etc.	Administrativo e legal, medições para reduzir ou minimizar o potencial risco de exposição a contaminação do local.

6.3.3. Os custos periódicos (CP)

São aqueles que ocorrem periodicamente e em poucos anos (por exemplo cada cinco anos, reposição de equipamentos) ou despesas que acontecem só durante o período da operação e manutenção ou reparações (Tabela 6.15). Estes custos podem-se considerar dentro de CC, mas devido à sua natureza periódica é mais prático considera-os em separado.

6.3.4. Custos indirectos (CI)

São custos que não participam directamente na construção, operação e manutenção da medida ou alternativa de protecção ambiental e estão relacionados fundamentalmente em aspectos de gestão e actividades de apoio.

Os elementos dos diferentes custos da protecção ambiental referem-se nas tabelas 6.14 e 6.15, mas para maior informação recomenda-se a consulta em <http://www.frtr.gov>, <http://www.frtr.gov>, <http://www.em.doe.gov>, entre outros.

Temas relacionados a análise dos elementos dos tipos de custos de protecção ambiental podem ser consultados também nos seguintes websites: <http://www.frtr.gov>, <http://www.frtr.gov/cost>, <http://www.hnd.usace.army>, <http://www.talpart.com>.

6.3.5. Passos para a estimação dos custos de protecção ambiental

Os passos recomendados para a estimação do custo ambiental subterrâneo estão indicados no esquema da fig. 6.4.

Estes passos são: descrição da alternativa da medida correctiva; identificação da estrutura de custos de capital; custo anual de operação e manutenção, e custos periódicos; estimativa de custos das actividades de construção, operação e manutenção; aplicação da contingência; estimativa dos custos de pessoal profissional e técnico; estimativa de custo

institucional (se aplicável); análise de valor presente; análise da sensibilidade (se aplicável); e revisão da estimativa de custos.

Tabela 6.14 – Elementos do custo anual de operação e manutenção (COM) e descrição de actividades

Elementos do custo	Descrição
1. Monitorização, amostragem, teste e análise	Monitorização, testes, análise <i>in situ</i> ou em laboratório, tratamento de dados e controle da boa qualidade durante o período da operação e manutenção. Pode incluir a monitorização para avaliar o desempenho da medida correctiva, em concordância com os regulamentos.
2. Extracção, contenção ou sistemas de tratamento	A operação e a manutenção dos sistemas de extracção no local, contenção ou tratamento (poluição do ar, água subterrânea, água de superfície, instabilidade do maciço rochoso).
3. Eliminação ou tratamento fora do local	Tratamento e/ou eliminação dos desperdícios gerados durante a operação e a manutenção.
4. Contingência	Os custos para cobrir aspectos desconhecidos, circunstâncias inesperadas, ou circunstâncias não previstas associadas com a operação e manutenção da acção correctiva.
5. Pessoal profissional e técnico . Gestão do projecto . Suporte técnico	Serviços de pessoal para controlar as actividades da operação e manutenção. Serviços de monitorização, avaliação e relatórios sobre o progresso da acção correctiva
6. Controle institucional	Actualização ou manutenção anual para reduzir ou minimizar o potencial da exposição do local à contaminação ou aos perigos.

Tabela 6.15 – Elementos do custo periódico durante a operação e manutenção e descrição de actividades

Elementos do custo	Descrição
1. Falha no sistema e/ou instalação e a sua restituição	Actividades da construção para substituir a instalação ou umas componentes chaves.
2. Desmobilização do local, extracção, contenção ou tratamento do sistema	Actividades para desmontagem ou de exame, extracção, contenção e facilidades de tratamento.
3. Contingência	Custos para cobrir circunstâncias e actividades imprevistas relacionadas com a operação e manutenção.
4. Pessoal profissional e técnico . Revisão durante 5 anos . Estudos de eficiência	Serviços para preparar relatórios de revisão durante 5 anos (se os níveis de poluição superam o limite admissível). Serviços para analisar e otimizar a protecção ambiental.

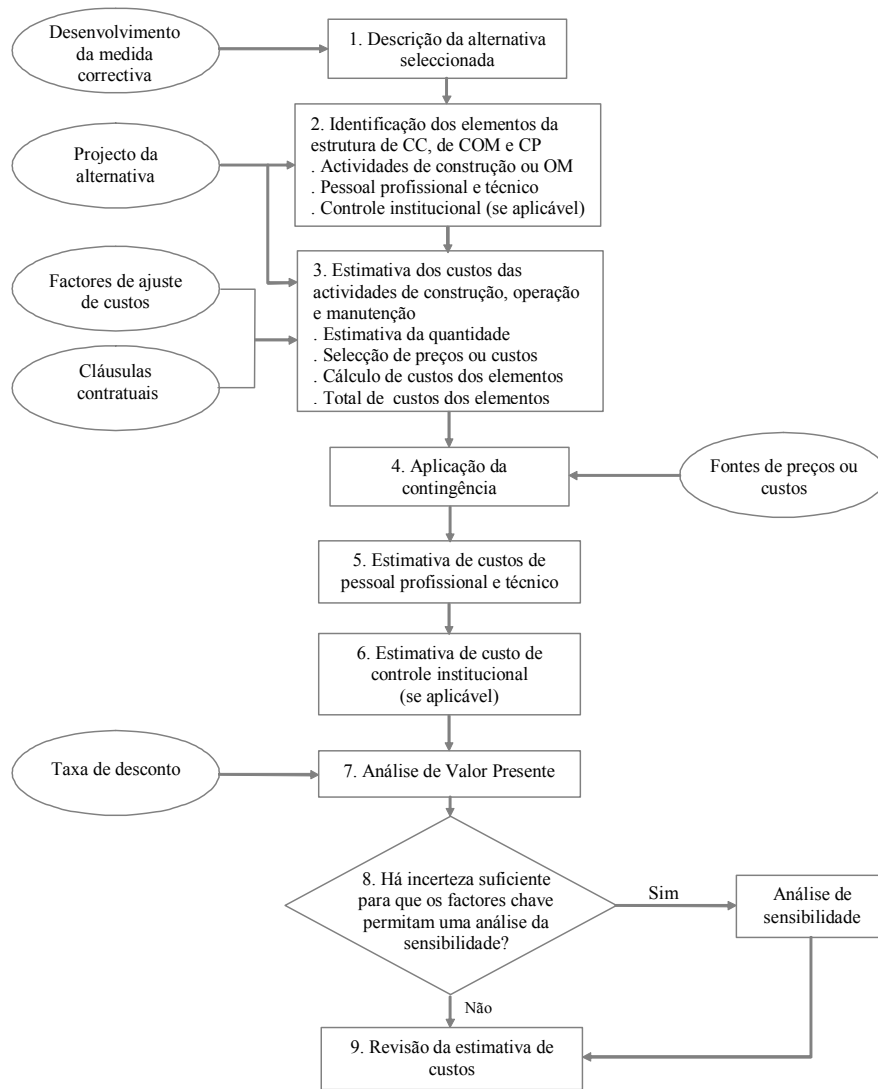


Figura 6.4 – Passos para a estimativa dos custos de uma alternativa de medida correctiva

Para a estimativa do Custo de Protecção Ambiental CPA (€/ano) recomenda-se a equação geral (6.1), que inclui todos os elementos que compreendem cada tipo de custo (Custos de capital (CC), custos de operação e manutenção (COM), custos periódicos (CP) e custos indirectos (CI) inclusivamente relacionado como pessoal profissional e técnico.

$$CPA = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot c_i}{V_u} + \sum_{i=1}^n A_i \cdot a_i + \sum_{i=1}^n P_i \cdot p_i + \sum_{i=1}^n G_i \cdot g_i, \quad (6.1)$$

onde, C_i é a quantidade de elementos dos custos de capital como são os equipamentos, instrumentos (unidades), etc., c_i é o custo unitário de aquisição do equipamento ou instrumento (€), V_u é a vida útil dos equipamentos ou do instrumento (anos), A_i é a quantidade de elementos dos custos de operação e manutenção (unidades/ano), a_i é o custo unitário do elemento dos custos de operação e manutenção (€), P_i é a quantidade de elementos dos custos periódicos (unidades/ano), p_i é o custo unitário do elemento dos custos periódicos (€), G_i é a quantidade de elementos dos custos indirectos (unidades/ano) e g_i é o custo unitário dos elementos do custo indirecto (€).

O detalhe destes custos devem ser elaborados com estimativa da quantidade, selecção de preços ou custos, cálculo de custos totais dos elementos e o custo total geral(modelo na Tabela 6.16).

6.4. Análise do valor presente

As medidas correctivas da protecção ambiental envolvem tipicamente os custos da construção (custos de capital, CC) que ocorrem no início do projecto e custos nos anos subsequentes relativos à implementação e manutenção da alternativa, após o período de construção inicial (COM+CO+CI).

A análise de valor presente é um método para avaliar as despesas de capital ou de operação e manutenção, que ocorrem em períodos de tempo diferentes (Tabela 6.17). Esta metodologia permite comparar o custo de diferentes alternativas das medidas correctivas com base num único número (custo) para cada alternativa. Este simples valor, denominado como o valor presente, é a quantidade monetária requerida, em relação ao ano base, para satisfazer encargos futuros de uma determinada quantidade de anos.

Tabela 6.16 – Modelo para estimativa de custos ambientais (baseado em EPA 540-R-00-002 -OSWER 9355.0-75, 2000)

Alternativa:.....Custos de capital (CC) ou					
Nome:.....Custos operação e manutenção (COM)					
Custos periódicos (CP)					
Custos indirectos (CI)					
Local:.....			Descrição:.....		
Fase:.....			.....	
Ano base:.....			.....	
Data:.....			.....	
No.	Elemento	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Total
1					
2					
.					
.					
n					
Total geral					

Tabela 6.17 – Modelo para estimativa de Valor Presente (baseado em EPA 540-R-00-002 -OSWER 9355.0-75, 2000)

Alternativa:..... Análise do Valor Presente						
Nome:.....						
Local:.....			Descrição:.....			
Fase:.....			.....		
Ano base:.....			.....		
Data:.....			.....		
Anos	Custo de capital	Custo anual de operação e manutenção	Custos periódicos	Custo total	Taxa de desconto	Valor Presente
1						
2						
.						
.						
.						
n						

A análise de *valor presente* de uma alternativa de medida correctiva envolve quatro etapas básicas: 1. Definição do período da análise; 2. Cálculo dos “outflows” (pagamentos) por cada ano do projecto; 3. Selecção de uma taxa de desconto para ser usada no cálculo do valor presente; e 4. Cálculo do valor presente.

Definição do período da análise: em geral o período de análise é equivalente à duração do projecto ou vida útil da medida de protecção ambiental. O Environmental Protection Agency (EPA) dos E.U.A. recomenda um período de 30 anos, embora que possa ser menor ou maior. Por exemplo, a contaminação pela rádioactividade precisa um tempo aproximado de 1000 anos (USEPA, 2002).

Cálculo anual do Cash outflows: esta etapa consiste em adicionar sobre os *outflows* do capital e o OM por cada ano do projecto (isto é *outflow* anual). Estes incluem custos significativos para construir a alternativa da medida correctiva, os custos anuais da operação e manutenção e os custos periódicos. A maioria das análises começam com uma suposição simplificada no sentido de que a duração da construção inicial é inferior a um ano (trabalho de construção ocorrer no ano 0 do projecto). Este suposto ano 0 pode ser modificado se os programas preliminares do projecto forem desenvolvidos e se souber que o custo de capital da construção ultrapassa um ano. Na análise é usado o valor constante da moeda (inflação nula).

Selecção da taxa de desconto: esta taxa reflecte a produtividade do capital e é equivalente à taxa de juros. Por exemplo nos E.U.A. a taxa de desconto é de 7% (USEPA, 1993, 1994, <http://www.epa.gov/superfund/>, <http://www.whitehouse.gov/OMB/circulars/a094/a094.html>). A mesma taxa de desconto deve ser usada para todas as alternativas de medidas correctivas, mesmo que o período da análise varie.

Cálculo do Valor Presente (VP), é calculado mediante a equação (6.2) em função do valor do capital no ano t , X_t ($t = 0$ para o ano base) e a taxa de desconto i (na forma decimal).

$$PV = \frac{X_t}{[1+i]^t} \quad (6.2)$$

Para a série de pagamentos futuros, o Valor Presente Total, *VPT*, do ano 1 até o ano *n* é calculado mediante a equação (6.3).

$$VPT = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{X_t}{[1+i]^t} \quad (6.3)$$

6.5. Análise de sensibilidade

No desenvolvimento duma estimativa de custo da alternativa da medida correctiva, deve ser considerada uma análise da sensibilidade (Tabela 6.18) para aqueles factores que têm um nível relativamente elevado de incerteza e que, com alguma pequena mudança no seu valor, poderiam afectar significativamente o custo total da alternativa. Este tipo de análise é considerado separado do crescimento dos custos ou riscos em relação à análise de custos, aplicado para determinar o valor da contingência na estimativa de custo.

Tabela 6.18 – Modelo para análise de sensibilidade de custos ambientais (baseado em EPA 540-R-00-002 -OSWER 9355.0-75, 2000)

Alternativa:..... Análise de Sensibilidade					
Nome:.....					
Local:.....			Descrição.....		
Fase:.....			.....	
Ano base:.....			.....	
Data:.....			.....	
Ano	Custo de Valor Presente (por factor de avaliação)				
	1	2	3	4	5
Factor de avaliação:					
1:.....					
2:.....					
3:..... etc.					

Os factores a considerar para a análise da sensibilidade de uma alternativa correctiva incluem:

Natureza e extensão da contaminação, estimação do volume médio de material e grau de contaminação, que dependem das condições locais.

A falha da alternativa/vida útil da tecnologia, dado a que a falha potencial duma medida correctiva ou de seus componentes requereria custos adicionais substanciais.

Duração do projecto, é o tempo requerido para uma acção correctiva ou suas componentes, conseguir os objectivos da medida, podendo ser um factor principal,

particularmente para aquelas acções que requerem muitos anos de operação e manutenção.

Taxa de desconto, embora deva ser considerada uma taxa de 7%, uma escala dos valores abaixo de 7% (ou acima) pode ser usada, para investigar a incerteza das circunstâncias económicas futuras.

Uma análise da sensibilidade pode variar os valores para este factor (baixo, médio, elevado), ao manter os valores para outros factores e observar o impacte no custo total estimado.

As vantagens da análise da sensibilidade são: a ajuda de identificação dos *factores críticos*, onde os recursos adicionais podem ter que ser gastos na recolha de dados. Porque respostas potenciais a distintas situações não requerem o uso das probabilidades, como outros métodos, tais como a análise de Monte Carlo.

Os resultados da análise de sensibilidade devem apresentar-se em termos de *Valor Presente Total* para cada cenário, incluindo a estimativa original, para fins de comparação.

6.6. Relação de custo/benefício na gestão ambiental

Para um projecto de exploração do espaço subterrâneo e baseado na análise de custos ambientais, para o cálculo de custo e benefício ambiental, propõe-se a equação (6.4) que é representada pelo valor presente VP e calculada em função do valor dos benefícios da protecção ambiental BPA_t no ano t , do custo da protecção ambiental no ano t CPA_t , da taxa de desconto i (juro) e $t = 1, \dots, T$ para qualquer ano.

$$VP = \sum_{t=1}^T \frac{(BPA_t - CPA_t)}{(1+i)^t} \quad (6.4)$$

O cálculo do benefício ambiental está relacionado com os benefícios económicos gerados pela conservação da boa qualidade do ar subterrâneo (maior rendimento do homem, menor despesa com possíveis doenças e perdas de vidas), pelo controle e protecção ambiental da água subterrânea (evitar despesas provocadas pelas inundações e contaminação com águas ácidas) e pela prevenção e controle da instabilidade e desabamento de rochas (evitar despesas devido a possíveis acidentes, perda de vidas, etc.).

Um conceito interessante é o denominado *ecoeficiência*, que liga dois tipos da eficiência: eficiência económica e eficiência ambiental. A *eficiência económica* considera os benefícios económicos conseguidos por unidade do custo económico. A *eficiência ecológica*, relaciona benefícios ambientais aos custos ambientais e estão frequentemente relacionados com avaliações do impacte ambiental.

A eficiência é um conceito fundamental na produtividade, que é tipicamente medida com os ganhos obtidos em relação as despesas realizadas. A *ecoeficiência* evoluiu do conceito convencional da análise benefício/custo, que é à muito tempo familiar aos economistas.

O objectivo da *ecoeficiência* é maximizar benefícios ambientais e económicos, e simultaneamente minimizar estes custos.

A equação da *ecoeficiência* EE (6.5) relaciona o benefício da protecção ambiental (BPA) com o custos de protecção ambiental (CPA). A maioria dos modelos incluem ferramentas quantitativas e qualitativas (*International Council on Metals and the Environment*, 2001).

$$EE = \frac{BPA}{CPA} \quad (6.5)$$

Para uma análise de benefícios e custos ambientais de um projecto pode-se também utilizar a equação (6.6), expressa em valor presente VP (Jenkins and Harberger, 1990). Este procedimento é mais usual e recomendável.

$$PV = \sum_{t=1}^T \frac{(B_t - C_t - CPA_t + BPA_t)}{(1+i)^t} \quad (6.6)$$

onde, B_t é o valor de benefícios do projecto no ano t , C_t é o valor dos custos do projecto no ano t , CPA_t é o valor do custo de protecção ambiental no ano T , BPA_t os benefícios da protecção ambiental no ano t , i é a taxa de desconto (juro) e $t = 1, \dots, T$ para qualquer ano.

Uma equação geral (6.7) para a estimativa de benefícios e custos de qualquer projecto é proposta por Martinez J.G. e S. Bauer (2001).

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{\sum_{n=1}^N a_n (B_{nt} - C_{nt}) \pm \sum_{e=1}^q f_e E_{et}}{(1+i)^t} \quad (6.7)$$

onde, NPV é o saldo do valor actual, a_n é o factor relacionado com benefícios ou custos de qualquer receita do grupo n , de acordo com seu significado social (valor distribuído), f_e é o valor de qualquer impacte ambiental e (carga ambiental), B_{nt} é o valor dos benefícios do projecto de todas as receitas do grupo n no ano t , C_{nt} é o valor dos custos do projecto de todas as receitas do grupo n no ano t , E_{et} é o valor de qualquer benefício ambiental (efeitos positivos ou negativos) e no ano t , i é a taxa de desconto (juro), $n = 1, \dots, N$ para grupos de receita, $t = 1, \dots, T$ para qualquer ano, $e = 1, \dots, q$ para qualquer efeito ambiental.

Outro conceito da economia ambiental está relacionado com o nível óptimo de degradação ambiental (Kula, E., 1992).

Na fig. 6.5 (esquerda) no ponto o o custo marginal é zero (0) e no B o benefício marginal corresponde a zero (0). O benefício está situado em OAB , os custos em ODB e os benefícios totais da sociedade (comunidade) estão em $OAD'B'$ (máximo benefício da actividade industrial) que resulta de OAB menos ODB , sendo OCB comum às duas áreas que resultam da subtracção CDB (igual a $CB'D'$) de OAC .

Quando se reduz a escala da actividade de B a E , os benefícios da sociedade aumentam rapidamente (Benefícios = $OACE$, Custos = OCE e benefícios totais = OAC).

OAC é melhor que OAD'B' e B'D'C; esta é a vantagem social em relação à escala da actividade industrial e, quando esta se situa em *E* constitui o nível óptimo de degradação ambiental, correspondendo ao ponto *C* (ponto de equilíbrio).

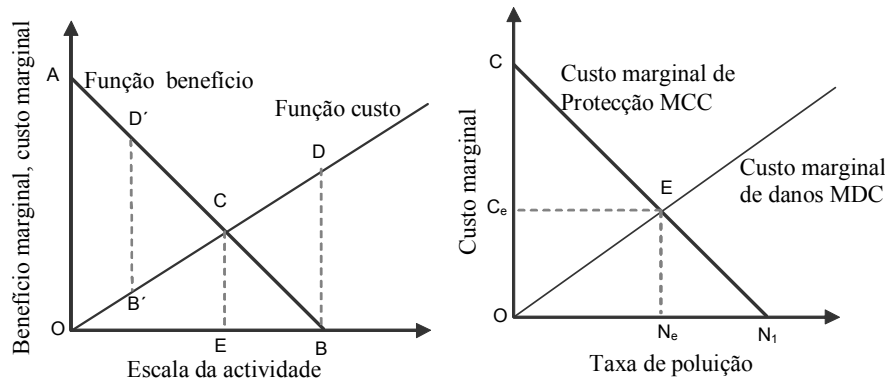


Figura 6.5 – Nível óptimo de degradação ambiental (Kula, E., 1992)

Existem vários métodos para a obtenção do nível óptimo de poluição ambiental (solução de negociação, de direito consuetudinário e de taxa de poluição). A fig. 6.5 (direita) mostra o método de taxa de poluição (*Pigovian taxes*), que utiliza o custo marginal dos danos ambientais *MDC* (*marginal damage cost*). É definido, em termos gerais, como a carga social, que é similar à figura 6.5 (esquerda) e o controle do custo marginal *MCC* (*marginal control cost*) que corresponde ao custo atribuído ao sistema de protecção ambiental. O *MCC* é zero quando o nível de poluição está no ponto N_1 onde não se precisa nenhum processo correctivo de controle ambiental.

No caso em que, um governo define uma taxa de poluição ambiental, a consecução deste objectivo corresponde a um custo determinado custo de protecção ambiental. Quando o nível de emissão é reduzido de ON_1 a ON_e a poluição abatida corresponde a N_1N_e existindo uma poluição remanescente ON_e . Neste caso N_e corresponde ao nível de impacte ambiental óptimo que corresponde a um custo C_e , onde existe um ponto de equilíbrio *E* (nível óptimo de poluição ambiental) que é definido pela intersecção entre o *MDC* e o *MCC*.

TERCEIRA PARTE

APLICAÇÃO A MINAS PORTUGUESAS E PERUANAS

Capítulo 7

APLICAÇÃO À MINA DE NEVES CORVO

7.1. Introdução

A aplicação da metodologia da Engenharia Ambiental Subterrânea (EAS), proposta no capítulo 2 da primeira parte (item 2.5 e fig. 2.14) e desenvolvida na segunda parte deste livro, é a mina de Neves Corvo relativamente à contaminação da atmosfera subterrânea e instabilidade e desabamento de rochas.

Em relação à aplicação do aspecto térmico, é usada a metodologia e modelos matemáticos desenvolvidos no item 3.1 e fig. 3.25, ao aspecto dinâmico (velocidade e caudal) é utilizado os desenvolvidos no item 3.4 e fig. 3.47 e no domínio ambiental rocha os desenvolvidos no capítulo 5 e fig. 5.20.

A aplicação da EAS na atmosfera subterrânea incide sobre a contaminação ambiental, ocasionada pela alteração térmica e aerodinâmica do ar que é escoado nas aberturas subterrâneas das áreas de Corvo, Neves e Graça, localizadas a mais de 650 m de profundidade, onde em algumas zonas, o ar sofre um aquecimento que origina impacte ambiental térmico e em outras existe caudal de ar insuficiente que ocasiona o impacte ambiental dinâmico e volumétrico.

A aplicação no meio rochoso trata do risco ambiental causado pela alteração das condições naturais do maciço rochoso ao construir a rampa CRAM03 e desmonte de Neves Norte.

O impacte ambiental térmico do meio subterrâneo, é avaliado considerando como indicador fundamental a temperatura do ar, o impacte ambiental dinâmico é baseado na velocidade do ar, o impacte ambiental volumétrico tem como base o caudal de ar e o impacte ambiental geotécnico, os parâmetros geoambientais.

A aplicação da EAS desenvolvida está orientada para protecção e gestão da qualidade ambiental subterrânea, mediante um processo sistemático:

- Definição do âmbito de acção do ambiente subterrâneo;
- Caracterização da atmosfera subterrânea no aspecto térmico, dinâmico, volumétrico e geotécnico;
- Identificação do nível de impacte ambiental térmico, dinâmico, volumétrico e geotécnico;
- Procura e aplicação de medidas correctivas;
- Monitorização e controle.

7.2. Definição do âmbito de acção

7.2.1. Localização geográfica e clima

A mina de Neves Corvo, pertencente à Sociedade Mineira de Neves Corvo S. A. (Somincor), com participação da EDM (51%) e a Rio Tinto pls (49%), está situada no Baixo Alentejo, a Oeste da chamada faixa piritosa Ibérica, a 230 km a sudeste de Lisboa e junto das vilas de Castro Verde e Almodôvar. A altitude é aproximadamente, 200 metros (fig. 7.1).

Ao longo do ano, no ambiente exterior da mina de Neves Corvo (Tabela 7.1 e fig. 7.2), regista uma temperatura mínima média de 8.95 °C em Janeiro e uma temperatura máxima média de 24.43 °C em Julho, com uma humidade relativa média de 72.18 % e 52.00 %, respectivamente.

7.2.2. Formações rochosas e jazigo mineral

As aberturas subterrâneas feitas para a exploração dos jazigos de Corvo, Graça e Neves, localizam-se numa sucessão de formações que se estendem desde o Devónico Superior até o Carbonífero e, no sentido ascendente diferenciam-se três unidades geológicas principais (Carvalho P., 1986), fig. 7.3.

Grupo filito – quartzítico (PQ), constituído por xistos escuros e negros, que na parte superior contém um nível contínuo de quartzitos e siltitos.

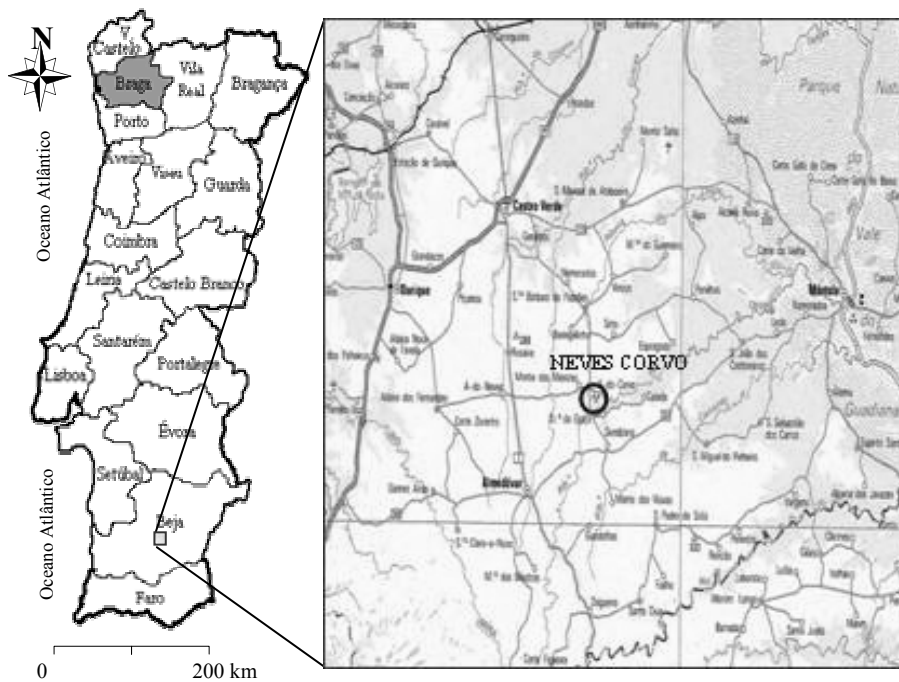


Figura 7.1 – Localização geográfica da mina de Neves Corvo

Tabela 7.1 – Temperatura do ambiente exterior registado próximo das entradas e saídas do ar do ambiente subterrâneo (baseado nos registos da estação meteorológica da Somincor 1999)

Meses	Tmáx (°C)	Tmín (°C)	Tméd (°C)	Hr (%)
Janeiro	15.17	2.73	8.95	72.18
Fevereiro	16.26	2.15	9.21	64.70
Março	16.28	6.33	11.29	68.52
Abril	18.63	7.60	13.11	58.50
Maio	22.73	10.59	16.66	59.63
Junho	25.11	11.97	18.54	50.32
Julho	31.91	16.94	24.43	52.00
Agosto	32.92	15.20	24.06	54.98
Setembro	28.48	14.34	21.41	61.95
Outubro	23.64	12.07	17.85	69.89
Novembro	17.78	4.52	11.15	71.17
Dezembro	15.32	6.09	10.71	80.97

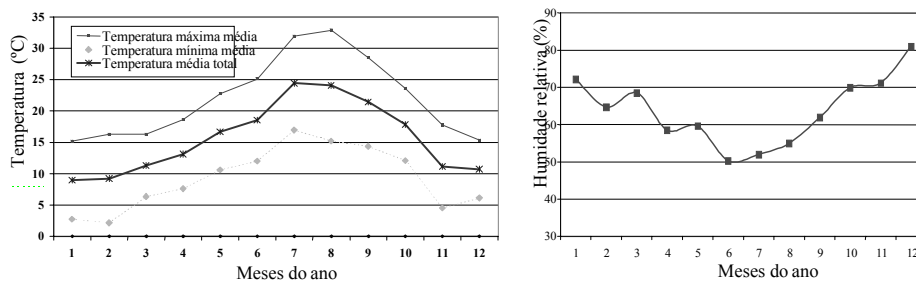


Figura 7.2 – Variação da temperatura e humidade relativa no exterior, próximo das entradas e saídas do ambiente subterrâneo

Complexo vulcano – sedimentar (CVS), concordante sobre o anterior, com uma característica essencialmente vulcânica ácida, constituída por episódios vulcânicos de composição riolítica e hialoclástica separados por formações sedimentares. O topo compõe-se de xistos negros argilosos e carbonosos com leitos milimétricos silticos. Estes xistos constituem o muro da mineralização.

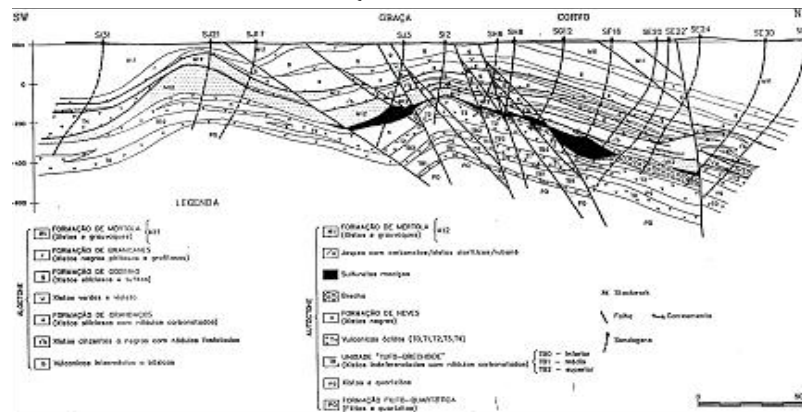


Figura 7.3 – Corte Geológico Graça Corvo (Carvalho, P., 1986).

Grupo flysch, constituído por uma alternância de xistos e grauvaques, subsidência de grande escala, sequência de xistos negros e escuros, camada de complexo vulcânico, alternância bandeada de xistos negros e xistos silicosos e lenticulas carbonatadas; finalmente novamente grauvaques e xistos negros argilosos. Na área de neves Corvo a espessura desta unidade ultrapassa os 700 metros.

Tabela 7.2 – Características gerais e reservas do jazigo de Neves Corvo (Departamento de geologia Somincor, 2000)

Jazigo	Características	Pirite (aprox.)*	Reservas**			
			Kt	Cu (%)	Zn (%)	Sn (%)
Graça	Inclinação 70°S e próximo da cresta 10°. Dimensão de 700m x 500m, possança máxima de 80m e profundidade de 230 a 450m.	70%	3457	2.73	6.04	0.17
Corvo	Inclinação de 20° a 35° NE-SW., dimensão de 600m x 1100m, possança máxima de 92m. e profundidade de 230 a 800 m.	60%	20473	5.20	3.07	0.30
Neves	Inclinação de 20° a 25° NE, dimensão de 1200m x 700m, possança máxima de 55 m e profundidade de 340 a 450 m.	30%	28721	1.79	4.17	0.17
Zambujal	Inclinação de 0° a 20° N, dimensão de 550m x 600m, possança máxima de 53m e profundidade de 300 a 450m.	60%				
Lombador	Inclinação de 20° a 40° N, dimensão de 600m x 1350m, possança máxima de 100.	85%	32347	1.42	4.07	0.07%

* Richard e Sides (1991)

** Richards e Ferreira – Somincor, (Dez.embro de 1998), relatório semestral

É importante caracterizar a litologia do maciço rochoso, dado que esta interage com a atmosfera e água subterrânea através da sua propriedade térmica, da sua composição litológica nas poeiras suspensas no ar, na formação de águas ácidas e do condicionamento das características físicas da superfície da escavação subterrânea (rugosidade).

Os depósitos minerais de Neves Corvo compreendem cinco corpos localizados no flanco do anticlinal Rosário – Neves Corvo, três dos quais estão em actual exploração, que são Corvo, Graça e Neves. Os outros dois jazigos que ainda não se encontram em exploração são Zambujal e Lombador.

A mineralização é constituída por sulfuretos, resultado da precipitação de fluidos hidrotermais, em bacias submarinas, estruturalmente controladas. Os minerais são sulfuretos massivos de cobre, chumbo, zinco e estanho, principalmente, cujas características gerais e reservas do jazigo de Neves Corvo estão apresentadas na Tabela 7.2.

7.2.3. Aberturas subterrâneas

7.2.3.1. Infra-estrutura

As aberturas subterrâneas escavadas para a exploração dos jazigos de Graça, Corvo e Neves, ocorrem entre as altitudes de +200 metros até um máximo de – 450 metros, e estão referidas a um nível (*level mine datum*) equivalente à cota 0.0 metros que é denominado nível 1000. O total atinge cerca de 80 quilómetros, entre verticais, inclinadas e horizontais.

A nível geral, o ambiente subterrâneo relacionado com a infra-estrutura apresenta-se na fig. 7.4 cujas características são resumidas nos parágrafos seguintes:

Poço Santa Bárbara, utilizado fundamentalmente para extracção do minério, tem 5 m de diâmetro, 592 m de profundidade e na boca , cota 1210 m;

Rampa de Castro, é o acesso principal de pessoal e equipamentos, a todos os jazigos, pois, a níveis diferentes desta rampa, tem origem duas outras (rampa de Neves e rampa de Graça) que acedem aos jazigos do mesmo nome. A rampa de Castro tem secção média de 17 m², comprimento de 3500 metros, declive de 10% a 12%, que possibilita atingir até o nível de rolagem 550, descendo um total de 660 m de profundidade;

Chaminés para o fluxo de minério e ventilação, as chaminés de minério comunicam com desmontes de exploração e com os níveis de rolagem, servindo as chaminés de ventilação para a circulação do ar fresco e poluído, tendo algumas comunicação com o exterior (Tabela 7.3).

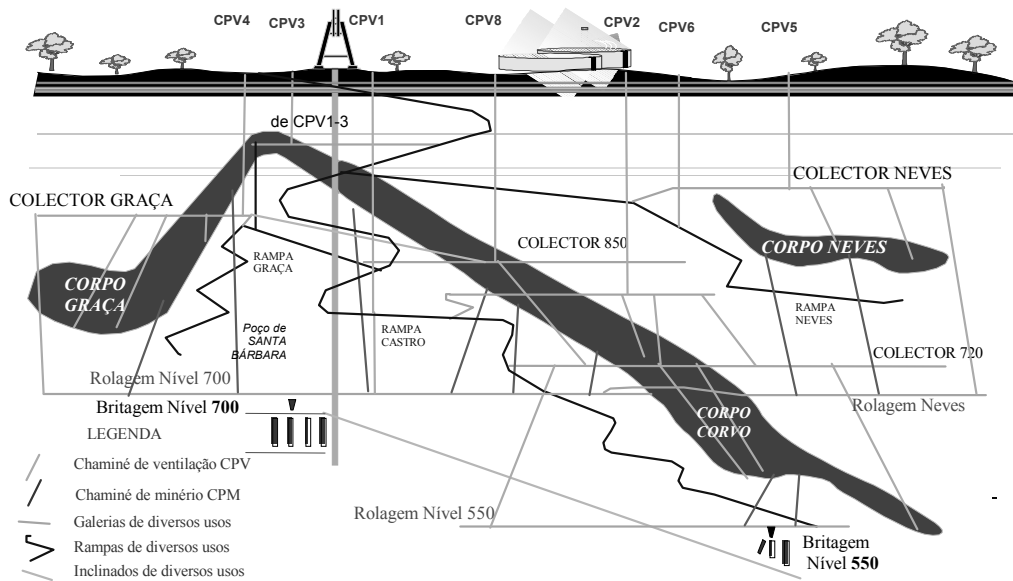


Figura 7.4 – Aberturas subterrâneas correspondentes à infra-estrutura geral

Tabela 7.3 – Chaminés de minério e de ventilação (com base na listagem geral de furos e chaminés, por função, Somincor Julho 2000)

Função	Quantidade de total	Comprimento (m)		Diâmetro (m)
		Total	Médio	
Ventil. superfície (CPV)	16	3959.91	247.40	2.10 – 4.20
Ventilação mina (CV)	118	12100.62	102.55	1.80 – 2.10
Minério (CM)	147	11873.31	80.77	1.80 – 2.10

- *Níveis de rolagem*, existem três:
 - Rolagem Graça e Corvo superior, denominado nível de rolagem 700, com secção de 21 a 24 m², que colecta o minério produzido nos desmontes de exploração dos jazigos de Graça e Corvo superior;
 - Rolagem Neves (Norte e Sul), localizado no nível 690, com secção similar ao anterior e colecta o minério produzido no jazigo de Neves;
 - Rolagem Corvo inferior, localizado no nível 550, para a exploração de Corvo abaixo do nível 690, com secção similar aos anteriores e comprimento de 960 metros.

Além destas aberturas, a mina tem câmaras de britagem (550 e 700), rampa de correia para alimentação de minério britado aos skips do poço, oficinas para manutenção de equipamentos, subestações eléctricas, paióis, colectores de ar poluído (910, 850, 830, 720 e graça), etc.

7.2.3.2. Desmontes de exploração

A forma e dimensões geométricas das aberturas subterrâneas geradas pelos desmontes durante a exploração dos jazigos, estão relacionadas ao método utilizado. Actualmente em Neves Corvo usam-se até quatro sistemas de exploração (D. Coupers, J. Lobato, J. Pinto, 1998).

a) *Drift and Fill* (fig.7.5), é a variante ascendente na qual é necessário construir um primeiro acesso com inclinação de -15 % desde a rampa principal, variando com o avanço da exploração de 5 metros em 5 metros de altura. Os sistemas de suporte usados são o enchimento hidráulico (areia, rejeitado de lavaria e cimento), cabos e pregos.

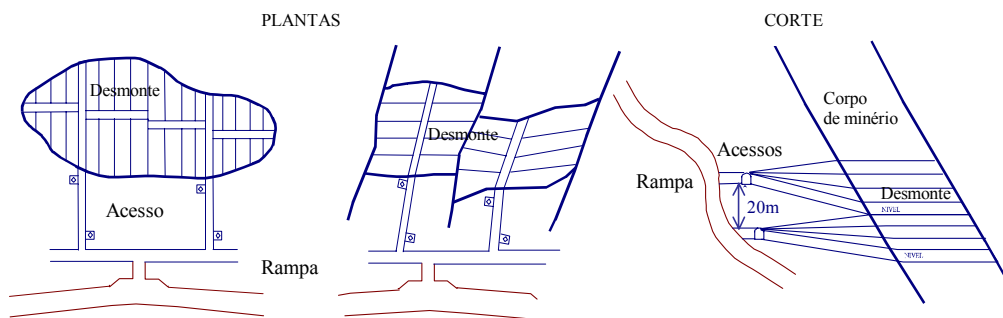


Figura 7.5 – Esquema da exploração *drift and fill*

b) *Bench and Fill* (fig. 7.6), aplicado nos minérios fissurados do jazigo de Neves Norte, que consiste na realização de desmontes transversais ao jazigo, com o posicionamento duma galeria no tecto e outro no muro, distanciadas no mínimo, 4 metros.

Depois a galeria superior é alargada para 12 m em ramos de 20 m, com suporte de pregos *swelex* e cabos. Em seguida executa-se uma chaminé de 2 m de diâmetro para caldeira do desmonte, logo é alargado para um rectângulo de 5 m de comprimento e largura de 6 m para depois disparar metade do *slot*.

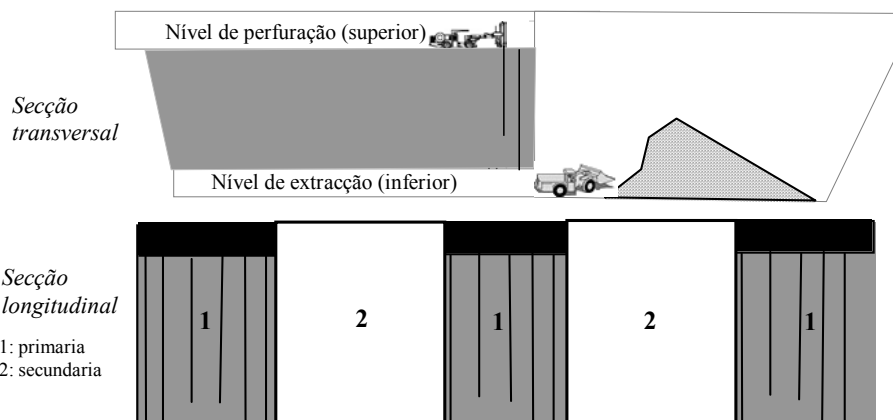


Figura 7.6 – Processo de exploração *bench and fill* (D. Coupers, J. Lobato, J. Pinto, 1998)

Ao finalizar estes trabalhos procedem-se à preparação de furos verticais e realização de disparos de produção, com 12 m de largura. Em seguida são cheios com enchimento de rejeitado e areia cimentada e em desmontes secundários (entre os primeiros) enchimento não cimentado (D. Coupers, J. Lobato, J. Pinto, 1998). Os ambientes de exploração no mês de Julho 2000 tinham a distribuição apresentada na Tabela 7.4.

Também nesta mina aplica-se o sistema *Mini-Benching*, que é similar ao método *Bench and Fill*, com a diferença de que é longitudinal, em painéis típicos de 10 m x 10 m x 40 m. Neste sistema é utilizado o enchimento hidráulico ou *paste fill*. Finalmente, nas operações de exploração, aplicam-se o sistema de recuperação de pilar de soleira denominado *Sill Pillar Recovery*.

Tabela 7.4 – Desmontes de exploração e seus acessos (em base a relatórios da mina de Neves Corvo, Junho 2000)

Área	Acessos e painéis de exploração
Graça	C933(1B, 2B, 3B), G943GC, CG931GE, G832(1B), G827(2B), G786(1B), G816(3B), C828(7B), C804(2B), C773(4B)
Corvo +700	C693 (3B), C693 (2T), C727 (1T), C733 (1T), C741 (1B), C768 (1T), C733 (1B, 2B)
Corvo -700	C528(3B), C548(C2, C9), C563(C3, C7, C9), C620(4B, 6B, 8B), C625(8B)
Neves Norte	N789(1B), N784(2B), B818(S10), B760(S10), B790(S31, S52, S92), B770(S83)
Neves Sul	S842 (2B, 3B), S848 (5B), S837 (6B), S829 (7B)

7.3. Contaminação da Atmosfera Subterrânea

7.3.1. Identificação preliminar do ambiente subterrâneo

O escoamento do ar identificado em Neves Corvo é forçado (exaustão) e tem um sistema típico mostrado na fig. 7.7 cujas características geométricas e de cobertura resume-se nas Tabelas 7.5 e 7.6. Na altura das medições, o sistema de exaustão do ar era constituído por 7 ventiladores instalados na boca dos poços CPV2, CPV4, CPV5 e CPV8, que permitiam a entrada de ar pelo poço de Santa Bárbara, rampa de Castro, CPV1, CPV3, CPV6 e CPV9, fluindo por todas as aberturas subterrâneas.

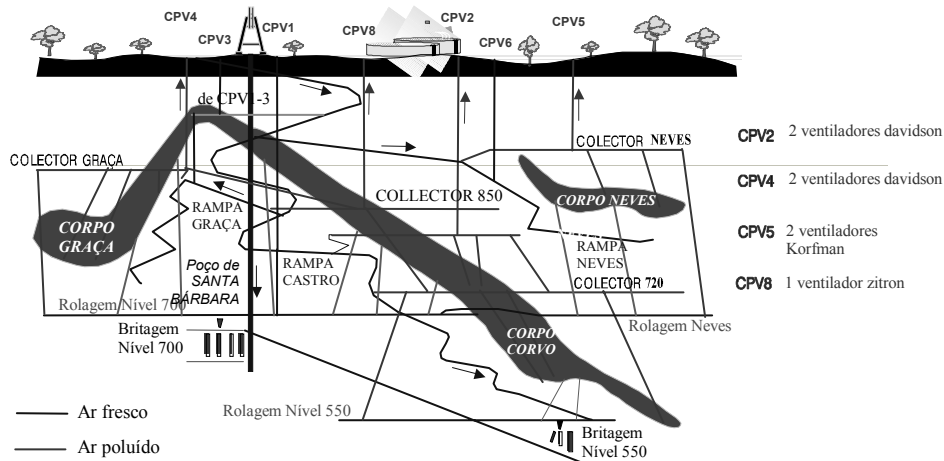


Figura 7.7 – Esquema típico de circulação do ar na mina de Neves Corvo (Somincor, 2000)

O sistema de circulação do ar possui 5 galerias colectoras de ar poluído que são: colector de Graça (880), colector de Neves (910), colector 850 e colectores 830 e 720, que são da zona de Corvo.

Para regulação e controle do fluxo de ar, usam-se portas simples ou portas duplas, com accionamento electro-hidráulico.

Tabela 7.5 – Sistema de exaustão do ar na mina de Neves Corvo (área de ventilação de minas Somincor, 2000)

Chaminés	Ventilador		Cobertura		Diâm (m)	Área mina
	Quant	Marca e modelo	De	A		
CPV2	2	Davidson APG.56	841.55	1216.60	4.20	Corvo
CPV4	2	Davidson APG.56	886.08	1200.33	4.20	Corvo
CPV5	2	Korfman KGL180	915.01	1224.10	3.00	Graça
CPV8	1	Zitron ZVN 1-23-360/6	861.66	1210.00	3.10	Neves

A interacção dos domínios ambientais no meio subterrâneo da mina de Neves Corvo, particularizando o componente térmico, dinâmico e volumétrico, pode-se representar conforme é mostrada na fig. 7.8.

Nos desmontes, o ar escoa forçado por ventiladores auxiliares de 55 KW e mangas de ventilação, que captam o ar do circuito principal (rampas principais), pelos acessos às frentes de exploração. As Figuras 7.9 e 7.10 mostram esquematicamente este sistema de circulação secundária do ar.

Tabela 7.6 – Entradas principais do ar atmosférico na mina Neves Corvo (área de ventilação de minas Somincor, 2000)

Local	Cobertura		Diâmetro (m)	Área mina
	De	A		
CPV3	1222.40	870.50	4.10	Graça
Poço S. Bárbara	1210.00	700.00	5.00	Corvo
CPV6	1217.00	869.02	2.10-3.10	Neves
Rampa de Castro	1209.50	550.00	12m ²	Corvo
CPV1	1070.50	708.69	2.40-2.75	Corvo
CPV9	1221.02	808.50	2.10-3.05	Neves

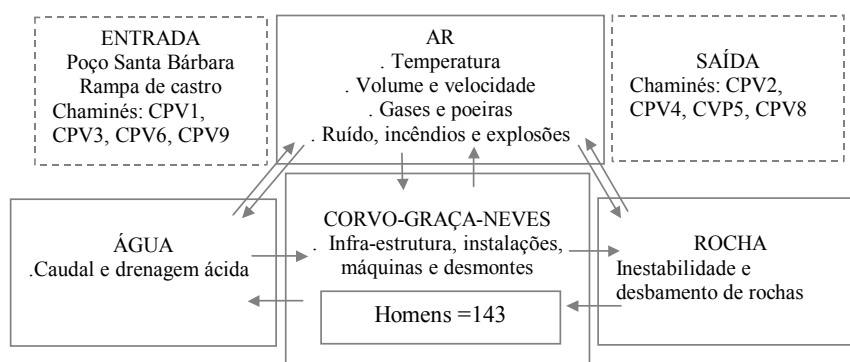


Figura 7.8 – Interação das componentes do ecossistema no ambiente subterrâneo da mina de Neves Corvo

Antes das medições dos parâmetros térmicos, dinâmicos e volumétricos *in situ*, procedeu-se em gabinete à predefinição do sentido do escoamento de ar, dos ramos e dos nós das aberturas subterrâneas. A fig. 7.11 ilustra, como referência, esta acção realizada nos acessos ao desmorte C570 da área de Corvo.

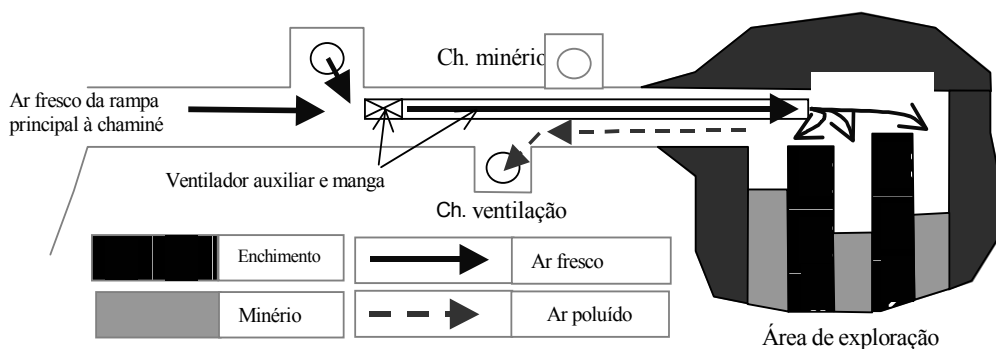


Figura 7.9 – Esquema de ventilação auxiliar no sistema *Drift and Fill*

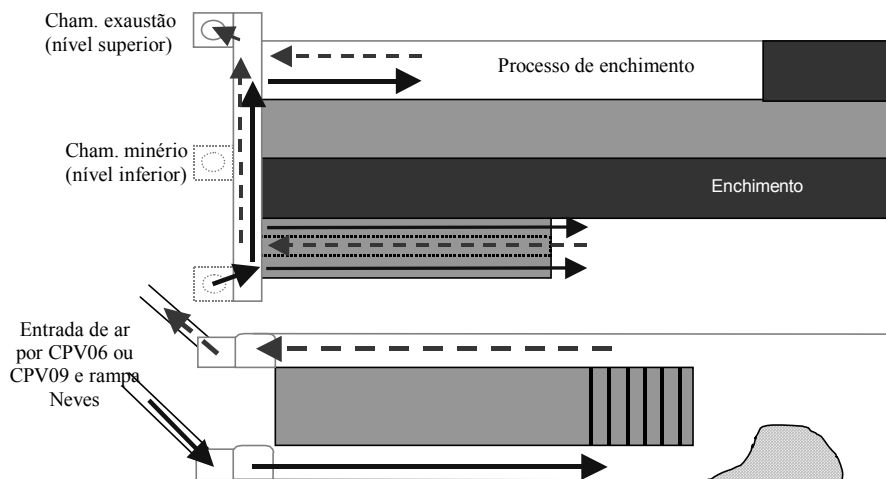


Figura 7.10 – Esquema de ventilação auxiliar no sistema *Bench and Fill*

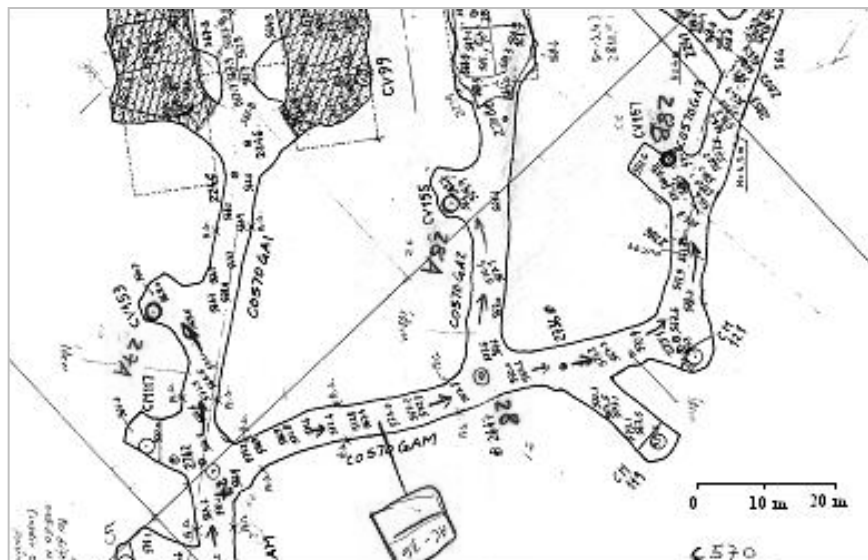


Figura 7.11 – Predefinição do sentido do escoamento de ar, ramos e nós nos acessos ao desmonte C570 da área de Corvo

As estações de medição foram localizadas em zonas adequadas de cada ramo, e aproximadamente a meio do seu comprimento.

7.3.2. Instrumentos utilizados para a medição

Os instrumentos utilizados pertencem ao Laboratório de Engenharia do Ambiente Subterrâneo L.E.A.S. da Secção de Exploração de Minas do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa e foram:

- Termo/Higrómetro Casella London Ltd para medir temperatura seca e húmida. Em cada estação de medição procedeu-se à rotação do aparelho durante 4 a 5 minutos, para depois efectuar a leitura directa;
- Anemómetro AIRFLOW LCA 6000 digital e de leitura discreta para a medição da velocidade do ar. Em cada estação foram realizadas as medições em 5 pontos da secção da abertura, considerando o valor médio das cinco leituras, como velocidade para a estação;
- Barómetro AIRFLOW digital, de leitura contínua, utilizado para a medição da pressão barométrica absoluta ou diferencial. As medições foram realizadas com tempo de espera até a estabilização do registo digital e depois efectuar a leitura directa;
- LOGGER DL20K da ROTRONIC, com quatro sondas (velocidade, temperatura, humidade relativa e pressão), que permite 240 registos por segundo é autónomo e transportável e os dados podem ser transferidos para um PC. O aparelho foi instalado nos poços pelos quais entra o ar com registo de longo período de tempo;
- Mira topográfica extensível de 5 metros e uma fita métrica de aço de 3 metros, para medição das secções.

Pela impossibilidade de realizar medição directa das secções, optou-se por dividir a secção em 5 subsecções trapezoidais, para medir 5 alturas e a base da secção (fig. 3.42).

7.3.3. Medições *in situ* e consolidação da base de dados

7.3.3.1. Registo de medições “*in situ*”

A medição das temperaturas, velocidade e dados para a determinação do caudal de ar foram realizadas em Julho de 2000 (fig. 7.12) na altura de paragem das operações de produção, com todos os ventiladores principais a funcionar e os ventiladores auxiliares desligados.



Figura 7.12 – Medição da velocidade, caudal e temperatura com anemómetro digital e com Termo/Higrómetro



Figura 7.13: Medição da velocidade, temperatura, humidade relativa e pressão atmosférica nas entradas principais de ar, utilizando o Data LOGGER DL20K

As medições da velocidade, temperatura, humidade relativa e pressão atmosférica nas entradas principais de ar (CPV1, CPV9, CPV6, CPV3 e pela Rampa de Castro), foram realizadas com o Data LOGGER DL20K (fig. 7.13), em intervalo de tempo de 3 a 4 horas e com registo de dados a cada minuto (Anexo 7.1).

Durante as medições *in situ* foram registadas: A denominação do local de medição; ramos identificados com números nos nós; comprimento; secção; velocidade do ar; pressão barométrica; temperatura seca; temperatura húmida; irregularidade dos hasteais; grau de obstrução e sinuosidade das aberturas; tipo de rocha; e tipo de suporte ou revestimento da superfície das aberturas. Estes dados são parte da base de dados consolidada (Anexos 7.3, 7.4 e 7.5).

7.3.3.2. Consolidação da base de dados

Para uma avaliação efectiva do impacte ambiental térmico, dinâmico e volumétrico na atmosfera subterrânea da mina de Neves Corvo foi necessário elaborar a base de dados, correspondente a os seguintes aspectos:

- Os caudais de ar nas aberturas subterrâneas, calculados aplicando a equação (3.60), e com as velocidades e secções medidas para cada estação;
- A humidade relativa nas aberturas subterrâneas calculadas com a equação (3.33), e com base nas temperaturas secas, a temperaturas húmidas e pressões barométricas medidas;
- O factor de fricção das aberturas subterrâneas, determinado utilizando a Tabela 3.46 com base no tipo de revestimento ou suporte das escavações, sinuosidades, junções, disjunções, etc. identificadas (temperaturas, velocidade e secção);
- O comprimento equivalente em cada ramo, determinado usando a Tabela 3.47.

- O perímetro das secções das aberturas calculado utilizando a expressão desenvolvida no item 3.4.3.2 para aberturas subterrâneas com secção maior de 12 m².
- Enumeração sequencial dos nós de ramos dos locais da atmosfera subterrânea com início no número 1, visando a utilização do software VnetPC2000

A base de dados consolidada encontra-se foi devidamente organizada com rigor e detalhe em formato Excel.

7.3.4. Redes de distribuição do ar no ambiente subterrâneo

As redes de distribuição do ar no ambiente subterrâneo da mina de Neves Corvo caracterizado em Julho de 2000, têm a particularidade de ser integral, ou seja, englobam as três áreas: Corvo, Neves e Graça.

a) *As Redes de ar no ambiente subterrâneo da zona de Corvo* estão definidas por entrada de ar limpo pela rampa de Castro, pelo poço de Santa Bárbara e pelas chaminés CPV1 e saída de ar poluído pelas chaminés CPV8 e CPV2 (fig. 7.14, fig. 7.15 e fig. 7.16).

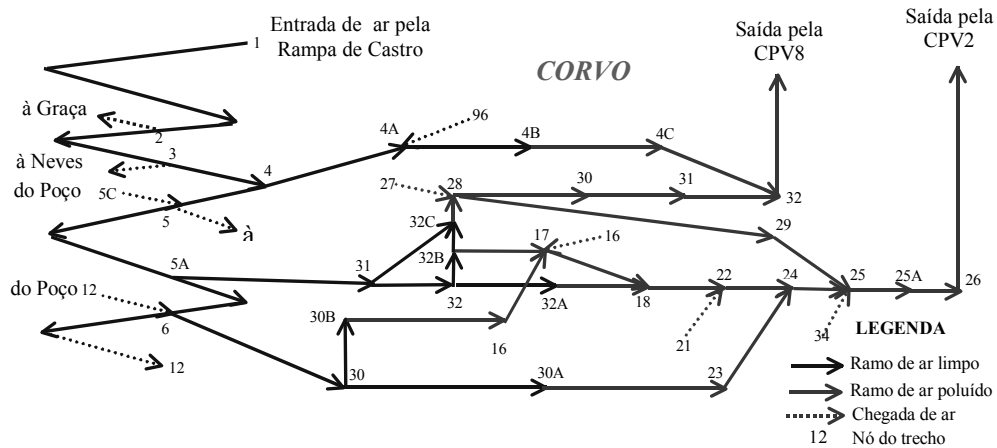


Figura 7.14 – Rede de ar da área Corvo com entrada pela Rampa de Castro

b) *As redes de ar no ambiente subterrâneo da zona de Neves* estão definidas com entrada de ar limpo pelas chaminés CPV6 e CPV9, e saída de ar poluído pela CPV5 (fig. 7.17 e fig. 7.18).

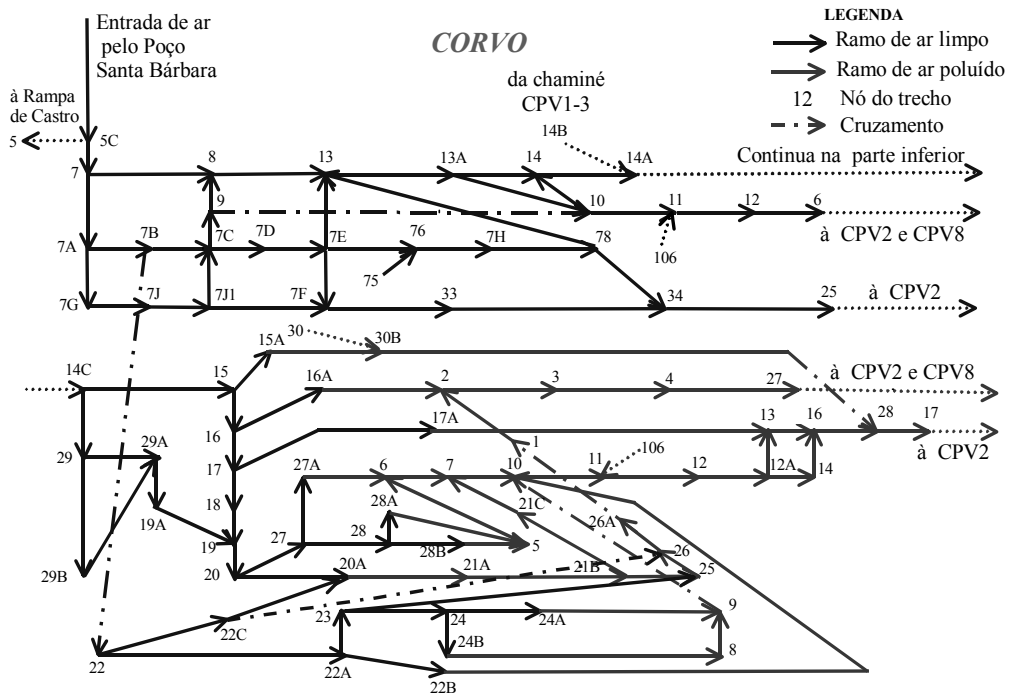


Figura 7.15 – Rede do ar da área Corvo com entrada pelo poço de Santa Bárbara

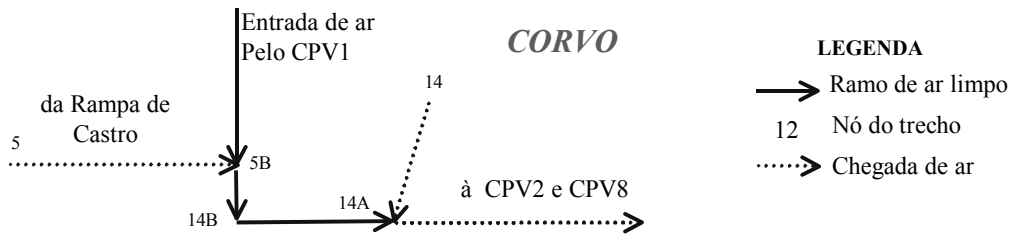


Figura 7.16 – Rede de ar da área Corvo com entrada pela chaminé CPV1

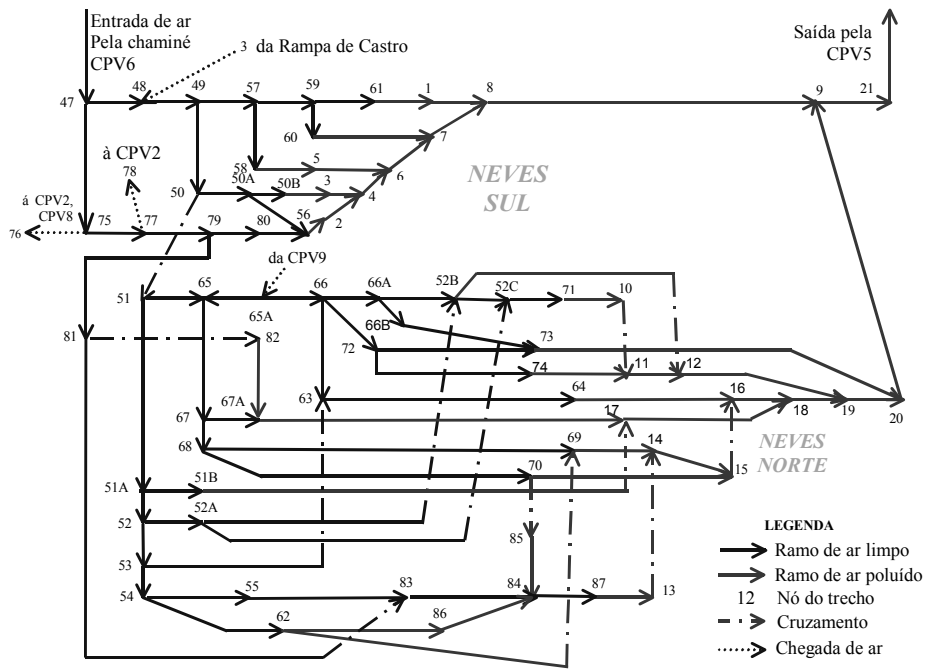


Figura 7.17 – Redes de ar da zona Neves com entrada pela chaminé CPV6

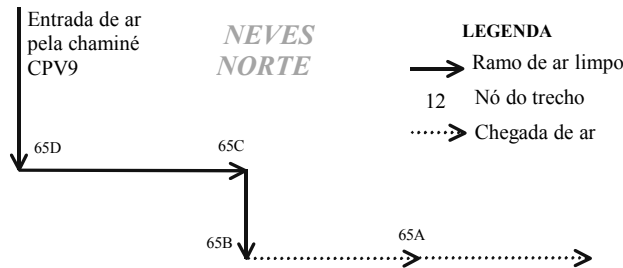


Figura 7.18 – Rede de ar da zona de Neves com entrada pela chaminé CPV9

Os circuitos de ar típicos identificados são 34 na área de Corvo, 15 na área de Graça e 25 na área de Neves, que fazem um total de 74, distribuídos da seguinte forma:

- Área de Corvo: CPV1-CPV2, Poço Santa Bárbara – CPV2, Poço Santa Bárbara – CPV8, Rampa de Castro – CPV2 e Rampa de Castro – CPV8;
- Área de Graça: CPV3-CPV2, CPV3-CPV4 e CPV3-CPV8;
- Área de Neves: CPV6-CPV5 e CPV9-CPV5

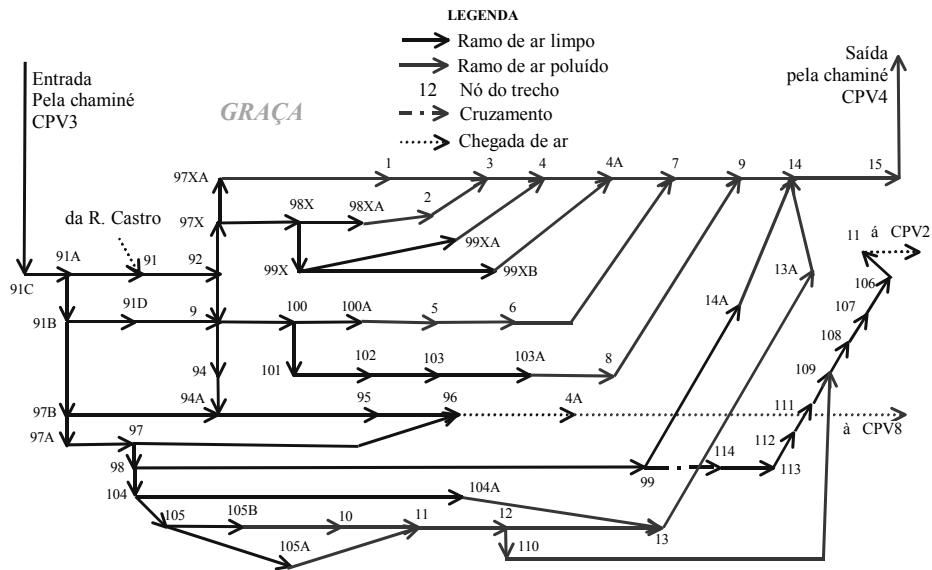


Figura 7.19 – Rede de ar da área Graça com entrada pela chaminé CPV3

7.3.5. Caracterização da situação dinâmica e volumétrica

O comportamento dinâmico (velocidade) e volumétrico (caudal) do ar no ambiente subterrâneo, caracterizado na altura das medições (Julho 2000), é analisado em duas partes: nas enredas de ar, com base nos registos do Data LOGGER DL20K e nas aberturas subterrâneas baseado nas medições com anemómetro, psicrómetro e barómetro.

Os resultados das medições da velocidade e caudal nas *entradas de ar* no ambiente subterrâneo pelas chaminés CPV1, CPV9, CPV6 e CPV3 com Data LOGGER DL20K, cujas características são similares ao gráfico dos registos na chaminé CPV1 (fig. 7.20 e 7.21).

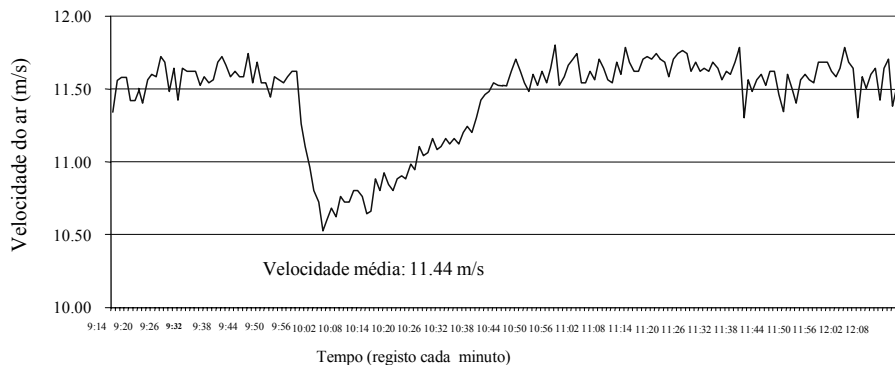


Figura 7.20 – Variação da velocidade de ar que entra no ambiente subterrâneo pela chaminé CPV1, (25 de Julho de 2000)

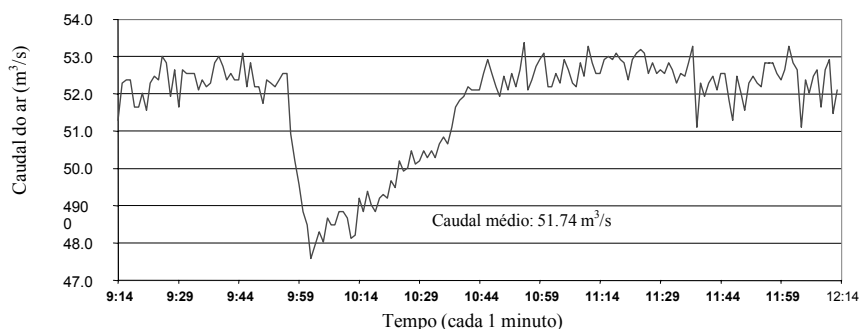


Figura 7.21 – Variação do caudal de ar que entra no ambiente subterrâneo pela chaminé CPV1 (25 de Julho de 2000)

O resultado das velocidades e caudais médios, respectivamente, são os seguintes: no CP9 10.82 m/s e 67.37 m³/s, no CPV6 13.96 m/s e 105.17 m³/s, no CPV3 11.84 m/s e 164.03 m³/s e no CPV1 11.44 m/s e 51.74 m³/s.

As características da velocidade e caudal de ar na atmosfera subterrânea da mina de Neves Corvo, em Julho de 2000 (Figuras 7.22, 7.23, 7.24, 7.25, 7.26 e 7.27), podem-se sresumir nos termos a seguir:

a) Os valores de *pico da velocidade* (12 m/s a 23 m/s) correspondem ao acesso de pequena secção (5^{to} acesso ao Poço, LP7A7B) e chaminés de exaustão (CPV2 e CPV8). Os valores de pico do caudal (180 m³/s a 250 m³/s) correspondem às chaminés de entrada e de saída do ar, nas que não há presença de homens.

b) Em locais com presença de homens (galerias, rampas, travessas, locais de oficina, etc.) registaram-se velocidades máximas de 8.86 m/s e caudais de 141.8 m³/s, como no caso da rampa de Castro, que em alguns casos, atingem valores elevados.

c) Existem vários locais (galerias, acessos aos desmontes, etc.) com presença de homens onde as velocidades do ar são inferiores a 1 m/s e como consequência caudais muito pequenos.

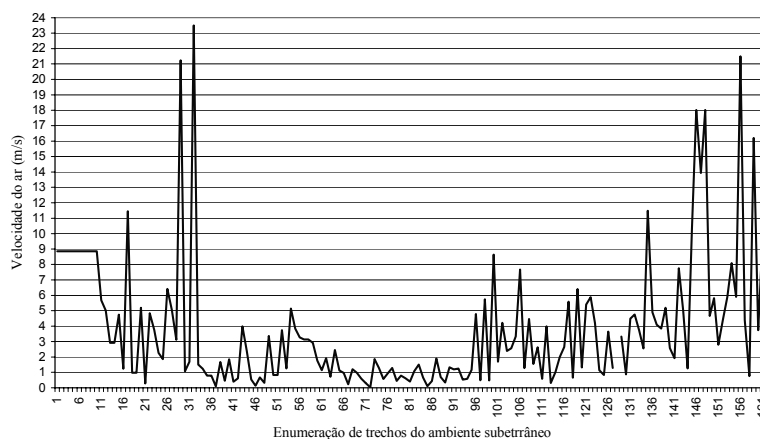


Figura 7.22 – Velocidade do ar na área de Corvo

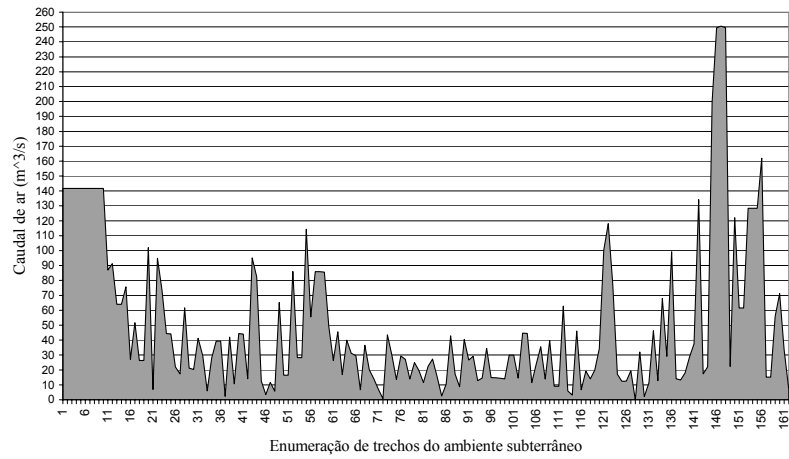


Figura 7.23 – Caudal do ar na área de Corvo

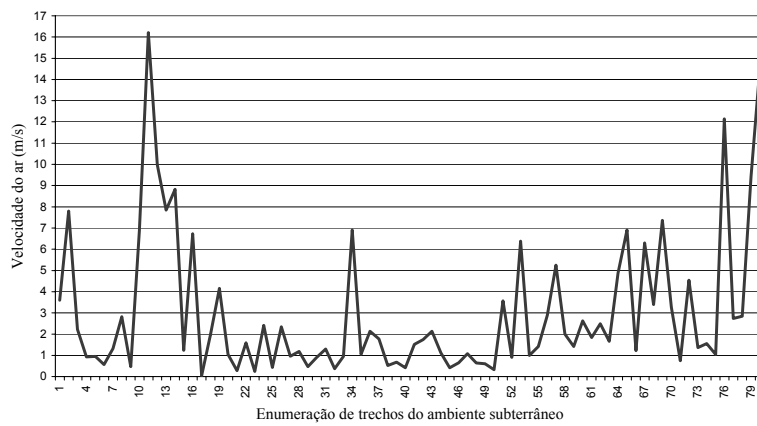


Figura 7.24 – Velocidade do ar na área de Graça

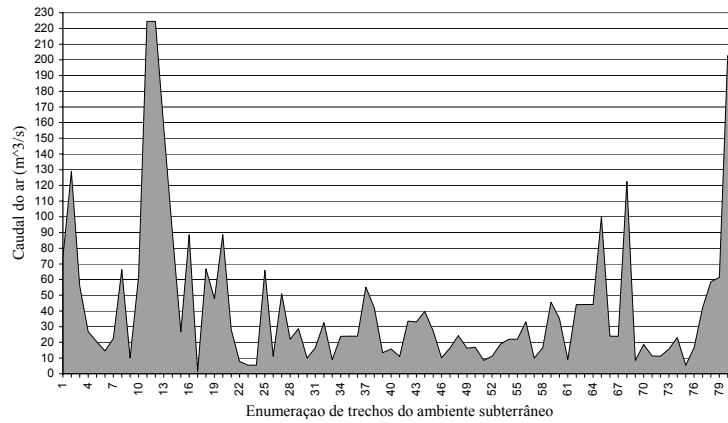


Figura 7.25 – Caudal de ar na área de Graça

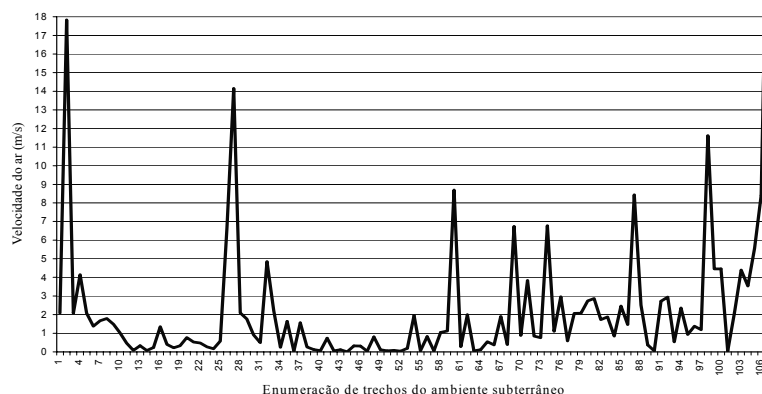


Figura 7.26 – Velocidade do ar na área de Neves

Realizando o balanço global de ar na atmosfera subterrânea, resulta um total de 647.00 m³/s de entrada de ar limpo e 654.94 m³/s saída de ar poluído com uma escassa diferença de 1.23% entre a entrada e saída do ar (Tabela 7.7). Este balanço é realizado com base em medições nas entradas (com equipamentos de precisão em Julho de 2000) e nas saídas (resultados da modelação com programa VnetPC2000) para um total de 7 ventiladores principais (caudal e pressão indicados na Tabela 7.8).

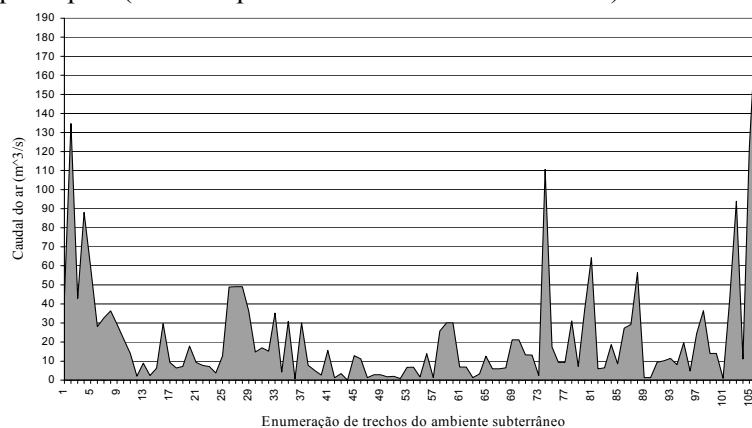


Figura 7.27 – Caudal de ar na área de Neves

Tabela 7.7 – Balanço de ar em Julho de 2000

ENTRADA		SAÍDA		
Local	Caudal (m ³ /s)	Local	Quantidade ventiladores	Caudal (m ³ /s)
CPV03	160.03	CPV02	2	210.77
Poço S. Bárbara	121.39	CPV04	2	209.10
CPV06	105.17	CPV05	2	134.93
Rampa de Castro	141.30	CPV08	1	100.14
CPV01	51.74			
CPV09	67.37			
Total	647.00	Total		654.94

7.3.6. Situação da temperatura e pressão barométrica no ambiente subterrâneo

A situação da temperatura e pressão barométrica nas chaminés de entrada de ar (CPV1, CPV9, CPV6, CPV3 e rampa de Castro) monitorizadas com Data Logger DL20K, apresentando-se, como exemplo, a realizada na chaminé CPV1 (fig. 7.28 e fig. 7.29).

Tabela 7.8 – Caudal em função da pressão dos ventiladores de exaustão

(2) Davidson APG-52 Chaminé CPV2		(2) Davidson APG-52 Chaminé CPV4		(2) Korfman 1800mm Chaminé CPV5		(1) Zitron ZVN 1-23- 360/6 – Chaminé CPV8	
Fan Setting : 0		Fan Setting : 0		Fan Setting : 5		Fan Setting : 5.5	
P(Pa)	Q(m ³ /s)	P(Pa)	Q(m ³ /s)	P(Pa)	P(Pa)	Q(m ³ /s)	Q(m ³ /s)
2155	107.52	2155	107.52	3000	58.00	3310	84.00
1905	120.00	1905	120.00	2500	81.00	2520	90.00
1571	130.00	1571	130.00	2000	91.00	2000	103.00
1333	140.00	1333	140.00	1500	106.00	1500	120.50
905	150.00	905	150.00	1000	118.00	1150	126.00
425	160.00	425	160.00	500	120.00		

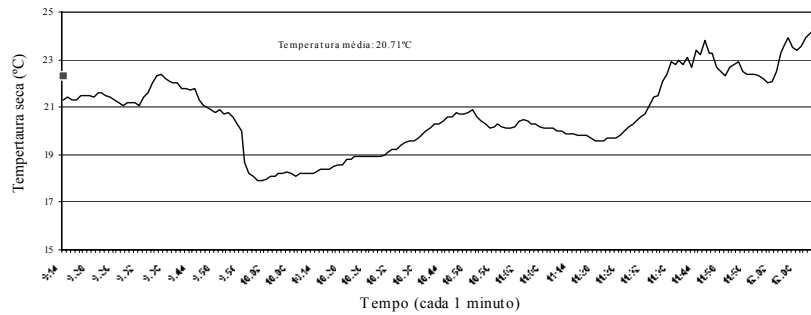


Figura 7.28 – Variação da temperatura na entrada do ar pela chaminé CPV1 (25 de Julho de 2000)

Realizando as medições das temperaturas no CPV1 e CPV3 na mesma data e entre as 9.14 e as 15.23 horas verifica-se que existe uma variação de aproximadamente 4 °C e, à tarde, perto de 2 °C. No CPV6 e CPV9 a monitorização foi feita entre as 13.02 e as 16.07 horas e, em ambos os casos as tendências são de acréscimo de 3 a 4 °C.

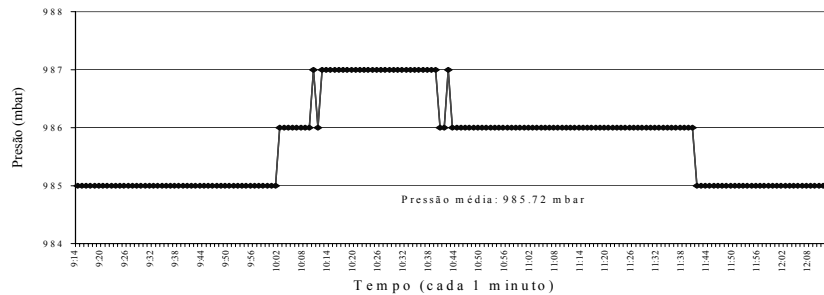


Figura 7.29 – Variação da pressão barométrica na entrada do ar pela chaminé CPV1 (25 de Julho de 2000)

A ponderação dos resultados médios de temperatura registadas em horas matinais (rampa de Castro 23.43 °C, rampa de Castro 26.5 °C, CPV1 20.71 °C) e matutinas (CPV3 24.61 °C, CPV6 25.65 °C e CPV9 31.32 °C), levam a concluir que as medições no ambiente subterrâneo realizaram-se em condições em que a temperatura do ambiente exterior apresentava um valor médio de 25.37 °C (variando de 20.71 °C a 31.32 °C).

Assim, também a pressão média geral do ambiente exterior, na altura dos ensaios realizados, foi de 981.54 mbar (variando de 965.08 mbar até 992.13 mbar) e a humidade relativa de 56.8%.

As medições de temperatura na chaminé CPV5 (saída de ar) atingiram um valor médio de 26.1 °C com uma humidade relativa de 56.83%, quando no ambiente exterior circundante se registava uma temperatura e humidade relativa médias de 32.6 °C e 29.16%, respectivamente.

Para uma caracterização detalhada da temperatura do ambiente subterrâneo foi necessário identificar todas as redes de ar (Tabela 7.9).

a). Na área de *Corvo* (fig. 7.30 e fig. 7.31), nas redes de ar com entrada pela chaminé CVP2 e poço de Santa Bárbara, as temperaturas registadas foram de 25 °C na parte inferior da chaminé, de 23 a 36 °C na rampa e galerias, 29.5 °C nos acessos a frentes de exploração, de 25 a 27 °C nos colectores e de 26.1 °C na saída. Nos circuitos com entrada na rampa de Castro, o ar entra com 26.5 °C desce até aos 22.5 °C nas galerias. Nos acessos às frentes de exploração a temperatura registada foi de 22 a 24 °C e de saída similar ao caso anterior. A humidade relativa nesta área oscila de 85 a 95%.

Tabela 7.9 – Redes de ar identificados no ambiente subterrâneo em Julho 2000

Área	Rede principal de entrada e saída do ar		No. redes do ar	Dist. de escoamento (m) Mín-Máx	Prof. máximas (m)	Temp. Máxima (°C)
	Entrada	Saída				
Corvo	CPV1	CPV2	7	2427.32-3338.21	641.07	29.5
	Poço Santa Bárbara	CPV2	14	2072.29-4323.97	672.60	29.5
	CPV1	CPV8	2	2395.62-3306.51	671.77	28.5
	Poço Santa Bárbara	CPV8	2	2946.90-3324.68	712.46	28.5
	Rampa de Castro	CPV2	7	3925.30-4119.08	492.00	24.5
	Rampa de Castro	CPV8	2	2527.00-3972.54	487.63	24.5
Graça	CPV3	CPV2	2	2988.03-3149.23	521.90	26.0
	CPV3	CPV4	11	1256.66-2048.15	417.20	25.0
	CP3	CPV8	2	1595.57-1842.98	392.28	27.0
Neves	CPV6	CPV5	19	1467.24-2900.35	539.81	27.0
	CPV9	CPV5	6	1147.94-1576.35	423.86	27.0

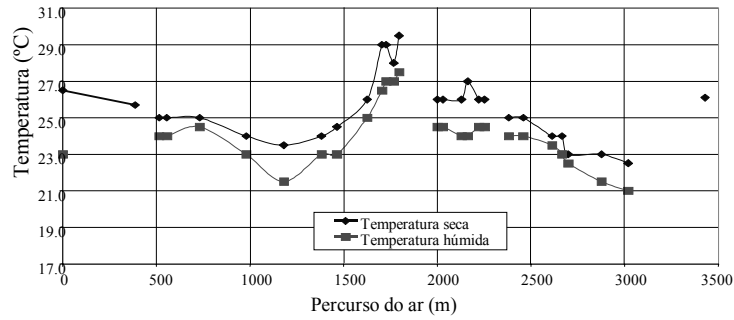


Figura 7.30 – Variação da temperatura na rede de ar típica n.º 1 (entre CPV1-CPV2), na área de Corvo

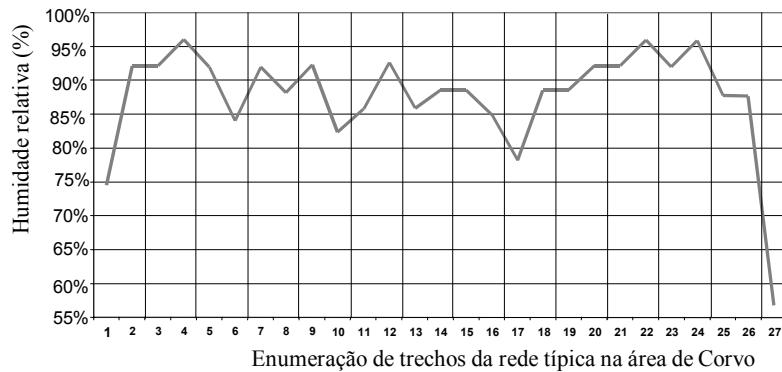


Figura 7.31 – Variação da humidade relativa na rede de ar típica n.º 1 (entre CPV1-CPV2), na área do Corvo

b) Na área da *Graça* (fig. 7.32 e fig. 7.33), a temperatura de autocompressão atinge 28 °C na base da chaminé, descendo na rampa e galerias até aos 20 a 24 °C, no acesso aos desmontes de 23 a 27 °C, no colector de 22.5 a 25 °C e, saída similar aos anteriores. A humidade relativa nesta área varia de 75 a 85%.

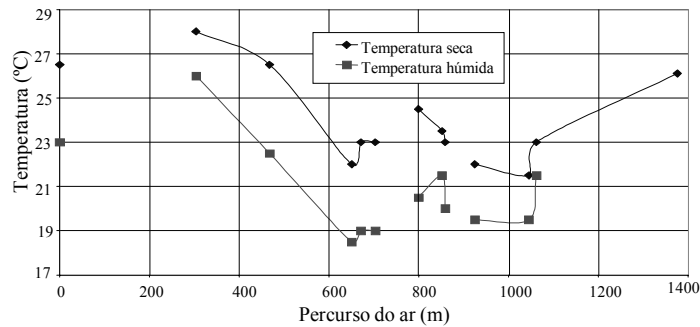


Figura 7.32 – Variação da temperatura na rede de ar típica n.º 1 (entre CPV3-CPV4) na área da Graça

c) Na área de *Neves* (fig. 7.34 e fig. 7.35) a temperatura medida na base das chaminés foi de 21 a 24 °C, na rampa e galerias de 21 a 24 °C, nos acessos a frentes de exploração 23.5 °C, nos colectores de 23.5 a 24 °C e saída similar aos casos anteriores. A humidade relativa média registada é de 90%.

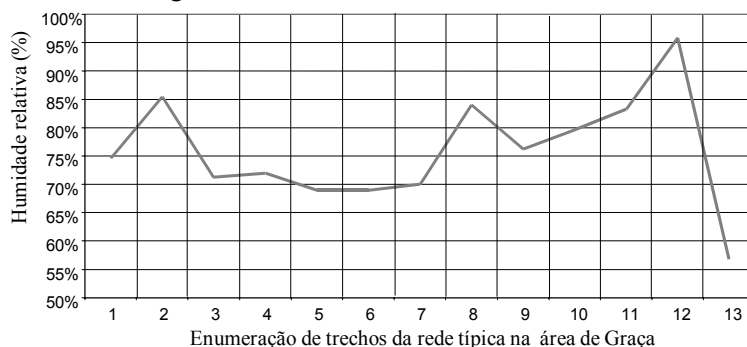


Figura 7.33 – Tendência da humidade relativa na rede de ar típica n.º 1 (entre CPV3-CPV4), na área da Graça

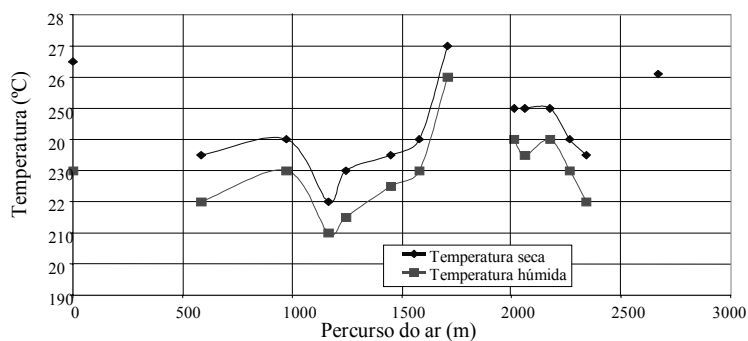


Figura 7.34 – Variação da temperatura seca e húmida na rede de ar típica n.º 15 (entre CPV6-CPV5), na área de Neves

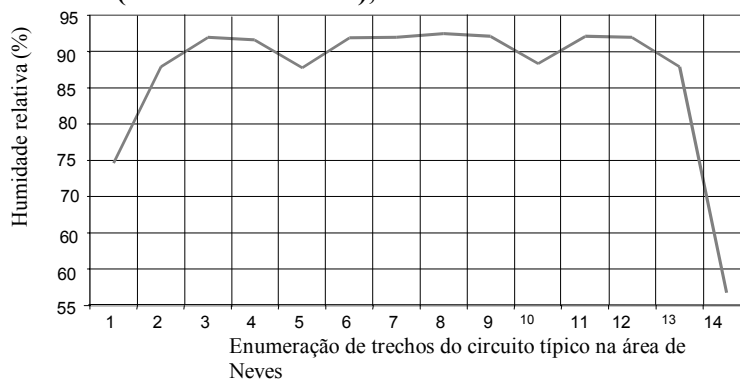


Figura 7.35 – Variação da temperatura seca e húmida na rede de ar típica n.º 15 (entre CPV6-CPV5), na área de Neves

7.3.7. Velocidade, caudal e temperatura do ar nas frentes de exploração

Os parâmetros térmicos medidos nos desmontes das três áreas da mina de Neves Corvo indicam valores elevados nas áreas de Corvo e Neves (Tabela 7.10 e Tabela 7.11).

Tabela 7.10 – Parâmetros térmicos nos desmontes (baseado nos registos de de Somincor 1998, 1999 e até Junho 2000)

MÊS	ÁREA CORVO						ÁREA GRAÇA						ÁREA NEVES						MINA		
	Temp. Seca (°C)			Temp. Húmida(°C)			Temp. Seca (°C)			Temp. Húmida(°C)			Temp. Seca (°C)			Temp. Húmida(°C)			Temp. Seca (°C)		
	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd
Janeiro	20	29	24.9	18.5	25	22.6	17.5	29	22.6	15.5	25	20.3	24	29	25.3	19	26	21.4	20.5	29.0	24.3
Fevereiro	22	28	25.8	21	25	23.6	19	29	23.8	17	25	23.2	25	30	27	21	25	23.6	22.0	29.0	24.4
Março	20	30	24.8	19.5	27	22.6	20	22	21	17	20	18	24	34	27.3	19	29	24.2	21.3	28.7	24.4
Abril																					
Maio	24	30	26.7	22.5	27	24.8	21	25	22.7	18.5	23	20.2	23	27	25.8	21	25	22.6	22.7	27.3	25.1
Junho	25.5	30	27.3	22	28	25.1	21.5	27	24.1	19	24	21.6	24.5	28	26.9	21	27	24.3	23.8	28.3	26.1
Julho	27	30	28.8	24.5	27.5	25.8	25	28	27	22	25	23.9	27.5	32	29.5	24.5	27.5	25.9	26.5	30.0	28.4
Agosto	26.5	31	28.9	25	29	26.9	21	37	27.2				25	28	26				24.2	32.0	27.4
Setembro	23	30	28.1	21	29	26.7	25	36	28.4	23	29	25.4	23	31	26.2	21	28	24.1	23.7	32.3	27.6
Outubro	23	30	28.2	21	27.5	25.2	23	28	26	21	25	23	27	30	28.1	24	27.5	25.1	24.3	29.3	27.4
Novembro	27	31	28.9	25	29.5	26.8	19	23	20.7	15	21	17.7	23	26.5	24.6	21	24	22.1	23.0	26.8	24.7
Dezembro	19	25	22.7	18	23	17.3	20	25	21.7	16	22	19	22	28	24.2	19	25	22	20.3	26.0	22.9

Tabela 7.11 – Valores médios dos factores dinâmicos, volumétricos e térmicos em condições da mina em produção (baseado nos registos de Somincor, realizados de 21 a 29 de Julho de 1998)

ÁREA	VELOCIDADE(m/s)			CAUDAL DE AR (m³/s)			TEMPERATURA SECA(°C)			TEMPERATURA HÚMIDA(°C)			FRENTE DE EXPLORAÇÃO
	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	
Corvo	13	20	15.5	7	10	8	27	30	28.8	24.5	27.5	25.8	542-4B-11, 542-4B-14, 620-6B, 760-1B, 762-1T
Graça	2	21	8.2	1	11	3.8	25	28	27	22	25	23.9	817-2B, 806-3B, 921-E, 928-3B, 804-2B-07
Neves	5	16	12	3	13	7	27.5	32	29.5	24.5	27.5	25.9	779-1B, 779-2B, 770-5B, 818-S18, 750-S40-3B, 700G77

A variação da temperatura seca nos primeiros cinco meses é baixa com um acréscimo nos meses de Julho, Agosto, Setembro e Outubro, diminuindo nos últimos dois meses do ano (fig.3.36). A margem de variação média da temperatura seca nas áreas de Corvo e Graça é de 6.1 °C e na área de Neves de 4.7 °C. A variação média para a mina em geral é de 5.6 °C para a temperatura seca e de 5 °C para a húmida.

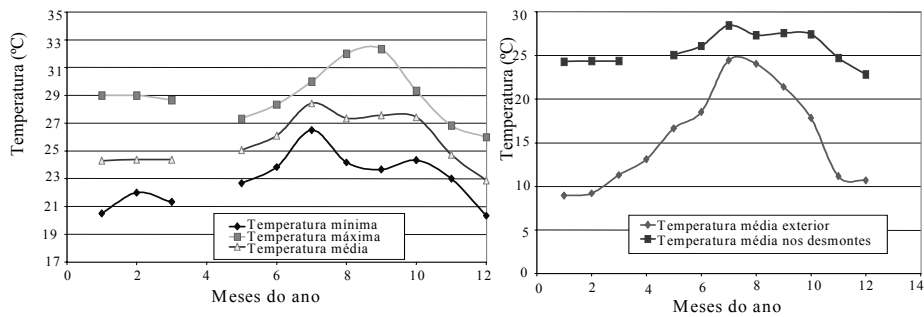


Figura 7.36 – Variação das temperaturas (médias mensais) no exterior (a) e comparação das temperaturas (médias mensais) no exterior e nas frentes de exploração (b)

Uma forte variação da temperatura exterior (fig. 7.36.a) a longo do ano (15.48 °C/ano) influi *levemente* a variação da temperatura nos desmontes (5.5 °C/ano). A temperatura média no ambiente subterrâneo é maior do que a temperatura média no ambiente exterior, devido principalmente às propriedades térmicas da rocha virgem.

Para comparar os parâmetros ambientais medidos em condições subterrâneas com *paragem de produção* e em condições de *mina em produção*, tomou-se como base os registos da Ventilação Secundária DTS do Departamento de Estudos e Planeamento Mineiro da Somincor, realizados entre 21 a 29 de Julho de 1998 (Tabela 7.12), em semelhança à data de realização das medições.

Tabela 7.12 – Comparação dos parâmetros térmicos do ambiente subterrâneo, em condições de mina *parada e em produção* (baseado nos registos de Somincor, Julho de 1998 e ensaios julho 2000)

ÁREA	Temperatura seca(°C)						Temperatura húmida(°C)						Velocidade Média(m/s)		Temperatura efectiva(°C)	
	Mina em produção			Mina paragem produção			Mina em produção			Mina paragem produção			Mina em Produção	Mina paragem Produção	Mina em Produção	Mina paragem Produção
	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd	Min	Máx	Méd				
Corvo	27	30	28.8	22.5	29.5	25.4	24.5	27.5	25.8	21	27.5	25.5	15.5	0.77	11.2	24.7
Graça	25	28	27	20	24	22.4	22	25	23.9	18	22	19.8	8.2	0.91	16.63	19.67
Neves	27.5	32	29.5	20	27	24.1	24.5	27.5	25.9	19	26	22.7	12	0.32	14.98	22.8

Nas medições realizadas na época de produção a velocidade e, consequentemente, o caudal são maiores relativamente às realizadas na altura em que houve paragem da produção, isto deve-se a que no primeiro caso os registos foram realizados com ventiladores auxiliares ligados, ou seja, em melhores condições e, no segundo caso, realizou-se com ventiladores auxiliares desligados. Nas condições referidas, existem as seguintes *diferenças*:

- Temperatura seca: Corvo 3.4 °C, Graça 4.6 °C, Neves 5.4 °C, média geral 4.5 °C;
- Temperatura húmida: Corvo: 0.3 °C, Graça 4.1 °C, Neves 3.2 °C, média geral 2.5 °C;
- Temperatura efectiva: Corvo 13.7 °C, Graça 3.04 °C, Neves 7.82 °C, média geral 8.2 °C.

7.3.8. Identificação do impacte ambiental térmico, dinâmico e volumétrico

7.3.8.1. Matriz base para a identificação do impacte ambiental

Para a identificação do impacte ambiental térmico aplica-se a matriz base proposta na Tabela 3.10 que, conforme o Artigo 148º do Decreto-lei n.º 162/90 do 22 de Maio (Tabela 3.6), a matriz base específica para a mina de Neves Corvo resulta o indicado na Tabela 7.13.

Tabela 7.13 – Matriz base para a avaliação do impacte ambiental térmico

Temperaturas (°C)	Níveis de impacte ambiental		
	Leve ∇	Moderado ⊗	Alto ♦
Seca (t_s)	$31 < t_s \leq 33$	$33 < t_s \leq 35$	$t_s > 35$
Húmida (t_h)	$26 < t_h \leq 28$	$28 < t_h \leq 30$	$T_h > 30$

Da mesma forma para a identificação do impacto ambiental dinâmico e volumétrico aplica-se a matriz base proposta na Tabela 3.52 que, particularizando para o caso em estudo resulta exposto na Tabela 7.14.

Tabela 7.14 – Matriz base para a avaliação do impacto ambiental dinâmico e volumétrico

Tipo de impacte	Níveis de impacte ambiental		
	Leve ▽	Moderado ⊗	Alto ◆
Dinâmico (m/s) V	0.2>V≥0.15 8<V≤9	0.15>V≥0.10 9<V≤10	V< 0.10 V> 10
Volumétrico (m3/s) Q	q*>Q≥0.9q*	0.9q*> Q≥0.7q*	Q<0.7q*

* q : volume de ar mínimo permitido pelo Decreto-lei nº. 162/90 (Portugal)

O caudal mínimo admissível varia relativamente ao número de homens e potência dos equipamentos diesel presentes nas frentes de trabalho, em condições críticas de operação e, aplicando a equação 3.73, resultam os valores se encontram na Tabela 7.15.

Tabela 7.15 – Condições críticas de operação (Departamento de produção da mina de Neves Corvo 2000) e caudal mínimo de ar admissível

Local	Homem simultâneo	Equipamento simultâneo*	Potência (hp)	q (m ³ /s)
Desmontes	3	1 LHD	224	10.67
Oficinas de manutenção	12	Equivalente a 1 LHD	224	11.12
Nível de rolagem	4	2 DUMPER	706	18.60
Galerias e rampas	15	Veiculo transp. pessoal	136	5.51

Nas rampas e outros ambientes onde há presença de homens e máquinas, as condições não são críticas. No sistema colector de ar geralmente não há presença de homens, nem máquinas, já que a sua função é de colectar ar poluído da mina.

7.3.8.2. Identificação do impacte ambiental térmico e dinâmico

Com as matrizes específicas elaboradas (Tabela 7.13 e Tabela 7.14) e definido os caudais de ar admissíveis (Tabela 7.15) a matriz de impacte ambiental térmico, dinâmico e volumétrico é apresentada na Tabela 7.16.

Na área de Corvo existe uma zona onde a temperatura húmida atinge de 26.5 °C a 27.5 °C e a temperatura seca varia de 28° a 29.5 °C, existindo portanto um risco ambiental leve pela temperatura húmida (não se encontra indicada na matriz de impacte).

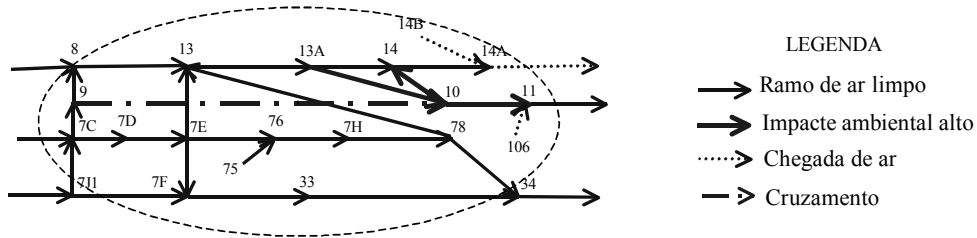


Figura 7.37 – Locais com impacte volumétrico alto na área de Corvo

A matriz do impacto ambiental mostra que a área com maior risco ambiental térmico, dinâmico e volumétrico é a de *Neves*.

Tabela 7.16 – Matriz de impacto ambiental térmico, dinâmico e volumétrico no ambiente subterrâneo da mina Neves Corvo

Área	Ramos	Ambiente subterrâneo	Tipo e níveis de impacto		
			Térm.	Dinâm.	Volum.
CORVO	5C-5	Oficina 810			◆
	13A-10	Rolagem Corvo			◆
	14-10	Rolagem Corvo		⊗	◆
	9-10	Rolagem Corvo			◆
	10-11	Rolagem Corvo			◆
	25-26	Acesso Cv159		◆	◆
	15-15A	C693GAM		⊗	◆
	vários	<i>Desmontes (Tabela 3.10)</i>	▽	◆	⊗
GRAÇA	97B-94A	Acesso a CPV-3		◆	◆
	109-108	Rolagem Graça			◆
	110-109	Rolagem Graça			⊗
	113-114	Rolagem Graça			◆
	vários	<i>Desmontes (Tabela 3.10)</i>		◆	◆
NEVES	54-55	Rampa Neves		◆	◆
	50A-50B	Acesso a CVM96		◆	◆
	51-65	N810GAM		▽	⊗
	67-67A	Acesso a CV44			⊗
	68-69	Acesso a CV48		◆	◆
	52A-52C	B760S92		⊗	▽
	52A-52B	Acesso a 52B		◆	◆
	66 ^A -52B	B790GAM		◆	◆
	72-74	Acesso a CV80		◆	◆
	75-76	Rolagem Neves		⊗	◆
	75-77	Rolagem Neves		◆	◆
	77-78	Rolagem Neves		◆	◆
	77-79	Rolagem Neves		◆	◆
	79-81	Rolagem Neves		◆	◆
	81-83	Rolagem Neves		◆	◆
	84-87	Acesso a CV42		◆	◆
	55-83	Ligação rampa		◆	◆
	vários	<i>Desmontes (Tabela 3.10)</i>	▽	◆	◆

Nos locais das redes de ar primário não existe impacto ambiental térmico; no entanto existe um impacto térmico *leve* nos desmontes das áreas de Corvo e Neves.

Os desmontes da área de Neves e Graça apresentam um impacto ambiental dinâmico e volumétrico *alto* e em Corvo *moderado*. Este resultado é coerente com os elevados riscos ambientais identificados nos *acessos*.

Tanto em Corvo, como em Graça e Neves nas *galerias de rolagem* o nível de risco ambiental dinâmico e volumétrico é *alto*, devido fundamentalmente à presença de camiões que são utilizados para o transporte de mineral.

As Figuras 7.37 e 7.38 representam os mapas de impacto ambiental onde se apresentam os níveis de risco ambiental identificados.

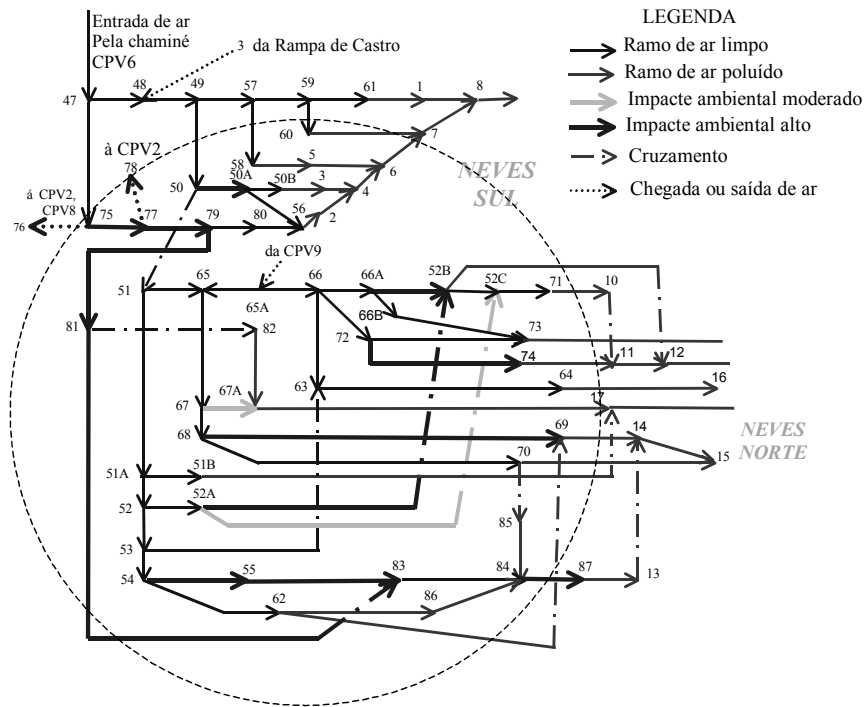


Figura 7.38 – Locais na área de Neves, com impacto dinâmico e volumétrico moderado a alto

7.3.9. Medidas correctivas para o impacto ambiental térmico, dinâmico e volumétrico nos desmontes

Na matriz do impacto ambiental (Tabela 7.16) mostra-se que nas áreas de Graça e Neves existe um impacto ambiental dinâmico e volumétrico *alto*, nos desmontes da área de Corvo um impacto dinâmico *moderado* e volumétrico *alto* e na área de Neves e Corvo há um impacto térmico *leve*.

7.3.9.1. Medida correctiva para o impacto ambiental térmico

Nos desmontes da área de Neves foram registadas temperaturas médias máximas de 32 °C (Tabela 7.10), mostrando isto que em alguns desmontes provavelmente esta temperatura seja maior.

A ventilação dos desmontes é mediante uso de ventiladores auxiliares (fig. 7.9 e 7.10), e num ambiente linear com secção varável, tanto no método de exploração *Drift and Fill* como *Bench and Fill*, podem-se aplicar as equações 3.1, 3.6, 3.10, 3.11, 3.14 e 3.15, para as condições locais seguintes: $P = 20.96 \text{ m}$, $S = 27.56 \text{ m}^2$, $h_1 = 659.30 \text{ m}$, $h_{\text{cen}} = 30 \text{ m}$, $\alpha = 0^\circ$, $g_g = 30.30 \text{ m/}^\circ\text{C}$, $\lambda = 0.1837 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, $\rho_a = 1.1774$, $C_e = 1.005$, $f_m \cdot f_t = 0.032$, $q_d = 2.9 \text{ kW/kW}$, $P_d = 204 \text{ kW}$, $C_e = 342 \text{ kJ/Kg}$ e $e_u = 342 \text{ kg ANFO/ dia-frente}$. Substituindo estes valores nas equações referidas obtêm-se a equação particular seguinte:

$$T_{\text{entrada}} = T_{\text{saída}} + [20.461/(1 + 2.97Q)] + 29.025/Q$$

Nas medições realizadas em Julho de 2000 registaram-se nos acessos aos desmontes da área de Neves temperaturas máximas de 27°C . Com o objectivo de tentar obter uma solução geral do impacte ambiental para diversos casos, modelou-se não só para esta temperatura mas também para temperaturas de 26°C até 30°C (fig. 7.39).

Na hipótese em que a temperatura do ar na entrada ao desmonte seja de 27°C (registo Julho de 2000), para manter o ambiente com temperatura inferior a 31°C (máximo permitido pela norma) o caudal necessário é de $9 \text{ m}^3/\text{s}$, mas para uma temperatura de entrada de 28°C precisam-se um caudal de $12 \text{ m}^3/\text{s}$.

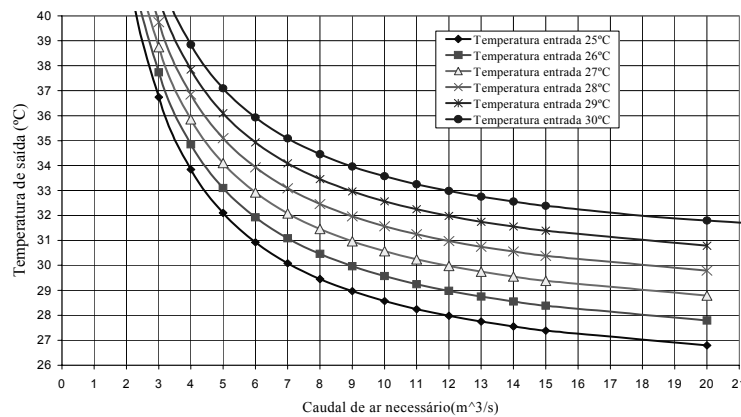


Figura 7.39 – Tendência da temperatura em função do caudal de ar nos desmontes

Na hipótese em que a temperatura de entrada do ar seja de 29°C é necessário um caudal de ar de $18.5 \text{ m}^3/\text{s}$, caudal que ainda resulta ser viável insuflar para a frente de exploração. Mas no caso em que a temperatura de entrada do ar é maior ou igual a 30°C é necessário um caudal muito elevado, sendo inviável técnica e economicamente.

7.3.9.2. Medida correctiva para a parte dinâmica e volumétrica

O caudal mínimo admissível de ar nos desmontes é de $10.67 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabela 7.15) pelo que, a medida correctiva deve garantir este caudal de ar através dos ventiladores auxiliares (Tabela 7.17). Este caudal mínimo não só está orientado a mitigar o impacte dinâmico e volumétrico mas também deve mitigar o impacte térmico.

Para a aplicação desta medida correctiva é preciso avaliar o dimensionamento do sistema de ventilação auxiliar.

Na mina de Neves Corvo, para a ventilação auxiliar são utilizados ventiladores Korfmann, desta forma a avaliação é realizada para estes equipamentos, utilizando o método de comprimento máximo expresso pela equação (3.64).

Tabela 7.17 – Caudal mínimo necessário para corrigir o impacto ambiental térmico, dinâmico e volumétrico nos desmontes

Temperatura do ar na entrada do desmante (°C)	Caudal mínimo de ar para manter a temperatura <31 °C nos desmontes (m ³ /s)	Caudal mínimo admissível pelo D. Lei 162/90 (m ³ /s)	Caudal mínimo da medida correctiva (m ³ /s)
27	9.00	10.67	18.50
28	12.00		
29	18.40		

Para estes ventiladores, com curvas características apresentadas no Anexo 7.2 e caudal da medida correctiva definido, obtêm-se as equações indicadas na Tabela 7.18.

Para obter as equações de comprimento máximo usam-se os seguintes parâmetros: $\lambda = 0.0260$ (Tabela 2.49), $Q = 18.50$ m³/s (Tabela 3.15), $f = 0.0278$ (Tabela 3.46), $P = 18.4$ m, $S = 21.15$ m² (D. Coupers J. Lobato 1998), $L_e = 9.144$ m (Tabela 3.47).

Tabela 7.18 – Equações de comprimento máximo do acesso/desmante

Ventilador	H _{máx} (curva)	Equação de comprimento máximo
ESN9-750	2400	$L_{máx} = 7.011906 / [(0.02548/D^5) + 0.0000541]$
AL10-300	1200	$L_{máx} = 3.505715 / [(0.02548/D^5) + 0.0000541]$
AL10-220	1000	$L_{máx} = 2.235026 / [(0.02548/D^5) + 0.0000541]$
AL10-180	960	$L_{máx} = 2.146103 / [(0.02548/D^5) + 0.0000541]$

Assim, a medida correctiva determinada para o impacto ambiental térmico, dinâmico e volumétrico nos desmontes da mina de Neves Corvo consiste na utilização do ventilador e manga adequados, para um comprimento máximo de acesso/desmante, utilizando as equações indicadas na Tabela 7.18 ou as curvas da fig. 7.40. A título de exemplo, apresentam-se alguns casos na Tabela 7.19.

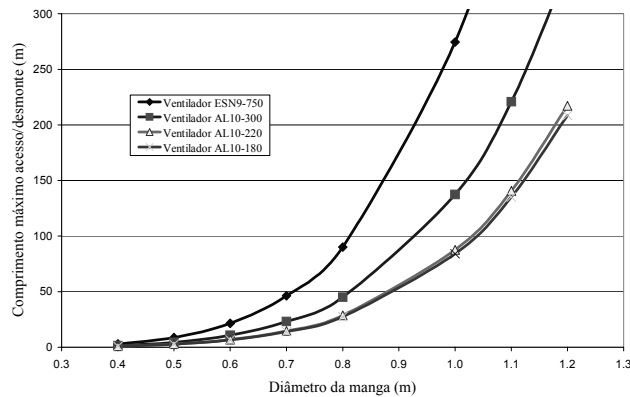


Figura 7.40 – Comprimento máximo dos acessos e/ou desmante (manga) em função do diâmetro da manga de ventilação

Tabela 7.19 – Exemplo de medidas correctivas para mitigação do impacte ambiental térmico, dinâmico e volumétrico para 50, 100 e 150 m de acesso e/ou desmonte

$L_{m\acute{a}x}$	ESN9-750	AL10-300	AL10-220	AL10-180
50	0.70	0.80	0.88	0.90
100	0.82	0.94	1.03	1.03
150	0.88	1.01	1.12	1.12

7.3.10. Medidas correctivas para o impacte ambiental térmico, dinâmico e volumétrico nas redes primárias de ar

7.3.10.1. Suporte informático

Por forma a obter a procura da medida correctiva para o impacte ambiental dinâmico e volumétrico identificado nas redes primárias de ar, utilizou-se o programa VnetPC2000 da Ventilation Service, Inc. dos E.U.A., como ferramenta principal.

O VnetPC2000 é um programa interactivo que precisa dum ambiente Windows 95, 98, 2000 ou NT, computador Pentium com mínimo 16 MB de memória Ram, e monitor VGA, que para a modelação é necessário introduzir dados básicos (fig. 7.41 esquerda) como: o título do trabalho, eficiência dos ventiladores, custo unitário da energia, massa volúmica do ar e o tipo de unidade a utilizar.

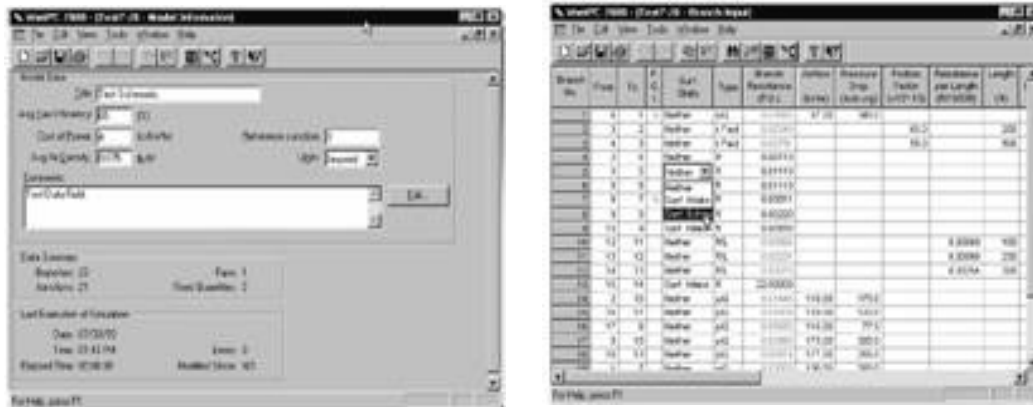


Figura 7.41 – Modelo de informações básicas para o input do programa VnetPC2000

Seguidamente, como parte do *input*, precisa-se de informação e factores sobre as características físicas das aberturas subterrâneas (fig. 7.41 direita), que são: ramos definidos pelos nós inicial e final, o factor de fricção, comprimento dos ramos, comprimento equivalente, secção, perímetro, nome do ambiente subterrâneo, por forma a processar estes dados, o programa necessita que se defina a opção de utilização do factor de fricção.

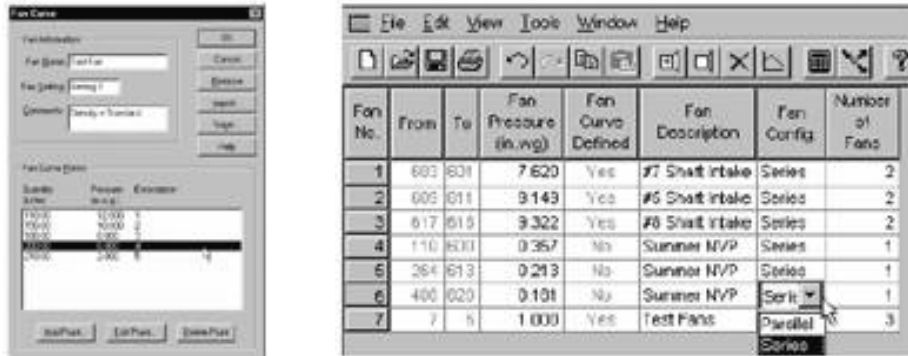


Figura 7.42 – Input da capacidade dos ventiladores baseado nas curvas características

O programa permite usar pressões, caudais fixos ou curva característica dos ventiladores (com pelo menos 5 pontos), considerando o número de ventiladores e a instalação em série ou paralelo (fig. 7.42).

O programa dispõe igualmente de uma opção para a modelação da concentração de gases poluentes e coordenadas dos nós (fig. 7.43) em latitude, longitude e altitude para a representação gráfica.

Com os dados fornecidos (*input*) procede-se à simulação da rede de ar subterrâneo, para o qual a metodologia adoptada foi de simular a situação inicial (referência) caracterizada com resultados muito próximos da realidade (1 a 2% de diferença) e depois, modelar as alternativas possíveis, visando mitigar o impacte ambiental térmico, dinâmico e volumétrico identificados. Os resultados (*output*) mostram, para cada ramo a resistência total, caudal de ar, potência, custo por ano e descrição, assim como o esquema da rede de ventilação (fig. 7.44).

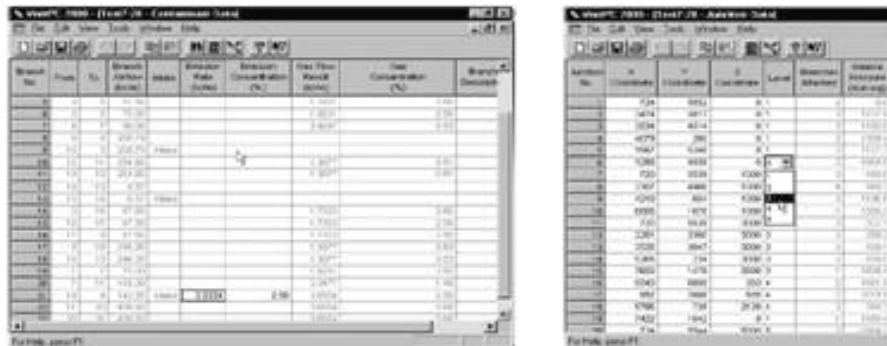


Figura 7.43 – Input da concentração de gases contaminantes e coordenadas

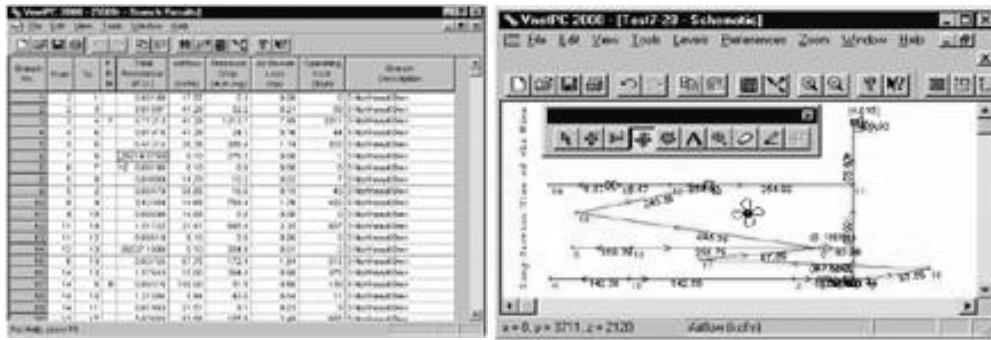


Figura 7.44 – Informações básicas no output do programa VnetPC2000

7.3.10.2. Medida correctiva obtida mediante a modelação

Nas simulações para a procura da medida correctiva mais viável foi tomada em consideração, como um critério fundamental, a utilização dos recursos existentes (infra-estrutura e ventiladores, Anexo 7.1) e, só no caso da impossibilidade de mitigar o impacte com os recursos existentes, é que considera a construção ou alargamento de poços ou chaminés.

A simulação inicial ou de base foi realizada considerando a medição realizada no mês de Julho de 2000, sendo o resultado muito próximo da realidade (Tabela 7.20).

Tabela 7.20 – Comparação dos caudais de entrada e saída do ar medidos em Julho de 2000 e resultados da modelação com VnetPC2000

Local	Entrada		Saída	
	Julho 2000 Caudal (m ³ /s)	VnetPC2000 Caudal (m ³ /s)	Local	VnetPC2000 Caudal (m ³ /s)
CPV3	160.03	161.39	CPV2	210.77
Poço S. Bárbara	121.39	121.39	CPV4	209.10
CPV6	105.17	107.96	CPV5	134.93
Rampa de Castro	141.30	141.99	CPV8	100.14
CPV1	51.74	53.27		
CPV9	67.37	68.93		
Total	647.00	654.93	Total	654.94

Na Tabela 7.22 apresentam-se os resultados da alternativa 1 e 2 (medidas de correcção) comparando com medições realizadas em Julho de 2000, nos locais onde se identificaram os impactes ambientais dinâmico e volumétrico *moderado a alto*, no Anexo 7.3 os resultados da simulação em condições iniciais (Julho 2000) e da alternativa 2.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 7.21, fig. 7.45 e fig. 7.46 conclui-se que, quer a Alternativa 1, quer a alternativa 2, são medidas correctivas que resolvem o problema do impacte ambiental identificado, obtendo-se velocidades e caudais maiores que o mínimo admissível.

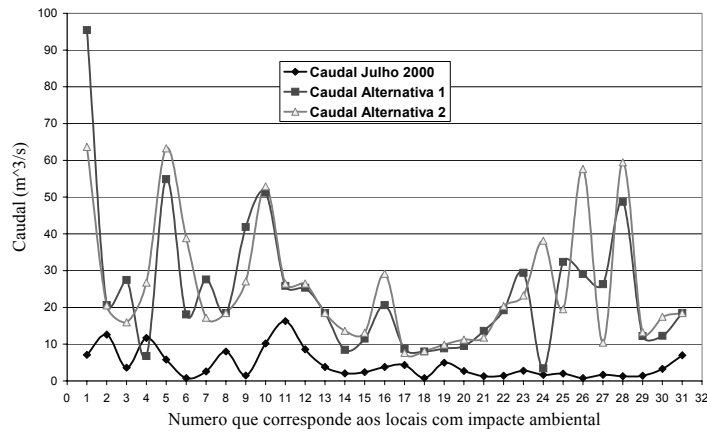


Figura 7.45 – Caudal de ar obtido pelas alternativas 1 e 2 relativamente ao medido em Julho de 2000 no ambiente subterrâneo com impacte ambiental dinâmico e volumétrico

No entanto, entre as duas alternativas, a 1 apresenta problemas em dois locais, devido ao facto de não conseguir obter uma velocidade e caudal maior que mínimo admissível. Esta alternativa 1 gera, na rampa de Castro, uma velocidade de 9.98 m/s (caudal de 159.08 m³/s) sendo maior que o mínimo permissível (8 m/s) e necessita de 4 ventiladores novos, com a vantagem de não se precisar de realizar o alargamento do poço CPV1.

Portanto, a alternativa 2 é a mais viável, visto que resolve o problema do impacte ambiental dinâmico e volumétrico com uma margem muito importante ao mínimo admissível, pelo que, constitui a medida correctiva procurada.

Econômicamente, a alternativa 2 necessita de um investimento de 961139.99 €, calculado com base em informações proporcionadas pelo Departamento de Planeamento da mina Neves Corvo (D. Coupers, 2000) e implica:

- Construção do novo poço novo de 313.70 m com diâmetro de 4.2 m: 307426.00 €;
- Alargamento do poço CPV1 de 2.4 m a 4.2 m de diâmetro: 153713.00 €;

Tabela 7.21 – Comparação entre os resultados das simulações das medidas correctivas e da medições realizadas em Julho de 2000, nos locais com presença do impacte ambiental dinâmico e volumétrico moderado a alto

Área	Ramos		Ambiente subterrâneo	No	Registos em Julho 2000		VnetPC2000 Alternativa 1		VnetPC2000 Alternativa 2	
	Julho 2000	VnetPC 2000			Q (m ³ /s)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	V (m/s)
CORVO	5C-5	22-14	Oficina 810	1	7.10	0.28	95.43	3.79	63.69	3.14
	13A-10	39-41	Rolagem Corvo	2	12.60	0.54	20.60	0.60	20.56	0.88
	14-10	40-41	Rolagem Corvo	3	3.60	0.14	27.47	1.08	15.94	0.78
	9-10	31-41	Rolagem Corvo	4	11.70	0.68	6.80	0.39	26.78	1.62
	10-11	41-42	Rolagem Corvo	5	5.80	0.33	54.87	3.10	63.28	3.78
	25-26	63-64	Acesso Cv159	6	0.80	0.03	18.09	0.65	38.84	1.85
	15-15A	48-75	C693GAM	7	2.60	0.11	27.63	1.16	17.17	0.88
	vários	vários	<i>Desmontes*</i>	8	8.00	0.26	18.50	0.62	18.50	0.62
GRAÇA	97B-94A	134-133	Aces a CPV-3	9	1.50	0.05	41.91	1.46	27.11	1.27
	109-108	172-171	Rolagem Graça	10	10.20	0.42	51.19	2.10	52.97	2.69
	110-109	173-172	Rolagem Graça	11	16.30	0.65	25.83	1.03	26.48	1.32
	113-114	176-177	Rolagem Graça	12	8.60	0.33	25.36	0.98	26.49	1.30
	vários	Vários	<i>Desmontes*</i>	13	3.80	0.13	18.50	0.62	18.50	0.62
NEVES	54-55	206-207	Rampa Neves	14	2.10	0.09	8.47	0.30	13.61	0.71
	50A-50B	209-210	Aces a CVM96	15	2.40	0.08	11.51	0.38	13.09	0.60
	51-65	202-220	N810GAM	16	3.80	0.17	20.64	0.92	29.16	1.54
	67-67A	230-231	Acesso a CV44	17	4.30	0.25	8.71	0.50	7.65	0.46
	68-69	232-233	Acesso a CV48	18	0.80	0.04	8.04	0.41	8.13	0.46
	52A-52C	235-237	B760S92	19	5.00	0.13	8.86	0.23	9.90	0.25
	52A-52B	235-237	Acesso a 52B	20	2.70	0.07	9.48	0.24	11.23	0.29
	66 ^A -52B	227-237	B790GAM	21	1.30	0.03	13.63	0.65	11.82	0.56
	72-74	239-241	Acesso a CV80	22	1.40	0.04	19.20	0.55	20.36	0.59
	75-76	242-36	Rolagem Neves	23	2.80	0.12	29.44	1.27	23.25	1.21
	75-77	242-244	Rolagem Neves	24	1.70	0.06	3.41	0.14	38.17	1.77
	77-78	244-38	Rolagem Neves	25	2.00	0.09	32.40	1.49	19.50	1.05
	77-79	244-246	Rolagem Neves	26	0.80	0.04	29.07	1.37	57.68	3.15
	79-81	246-247	Rolagem Neves	27	1.70	0.07	26.31	0.78	10.38	0.53
	81-83	248-250	Rolagem Neves	28	1.30	0.06	48.76	2.20	59.47	3.17
	84-87	251-254	Acesso a CV42	29	1.40	0.06	12.20	0.52	13.23	0.68
	55-83	208-250	Ligação rampa	30	3.30	0.12	12.25	0.45	17.45	0.84
vários	vários	<i>Desmontes*</i>	31	7.00	0.23	18.50	0.62	18.50	0.62	

* Registos de Ventilação Secundária DTS Departamento Estudos Planeamento Mineiro de Somincor, realizados de 21 a 29 de Julho de 1998 e resultados da medida correctiva para desmontes

- o Custo de 2 ventiladores Korfmann de 250 kW cada um: 500000.00 €.

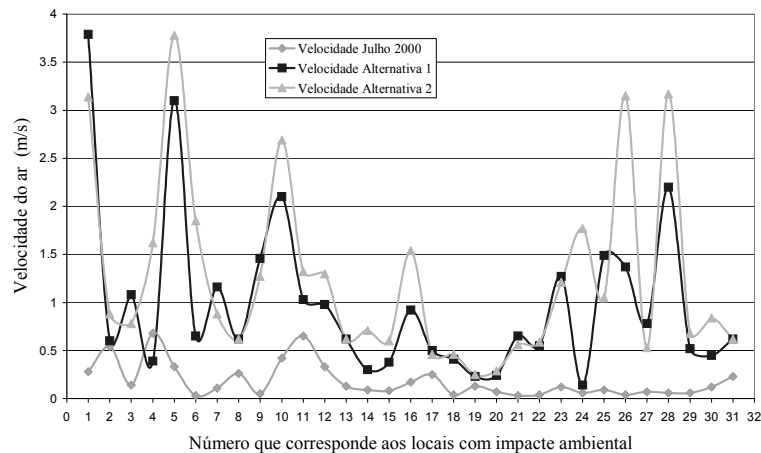


Figura 7.46 – Velocidade do ar obtida pelas alternativas 1 e 2 em relação ao medido em Julho de 2000 no ambiente subterrâneo com impacte ambiental dinâmico e volumétrico

A informação utilizada é: poço de 4.2 m de diâmetro 1980 €/m, custo de aquisição mais instalação de 2 ventiladores de 250 kW cada um 500000 €.

As actividades para a realização da alternativa 2 são as apresentadas na Tabela 7.22. Os 2 ventiladores Korfmann AL 1200 a instalar em Rolagem Graça, são os retirados do acesso ao CPV1 (Oficinas 810) não constituindo um requerimento para aquisição.

Tabela 7.22 – Acções a realizar na implementação das melhores alternativas de simulação

Área	Alternativa 1		Alternativa 2			
Corvo	. Retirar os 2 ventiladores Korfmann AL1200 do acesso ao CPV1 (OF.810). . Instalar 01 ventilador AL12-370, no ramo 26-26A (AC.CV159).		. Retirar os 2 ventiladores Korfmann AL1200 do acesso ao CPV1 (OF.810). . Instalar 01 ventilador AL12-370, no ramo 22C-20A (OHV4 antigo) . Alargar poço CPV1 dum ϕ de 2.4 m a 4.2 m.			
Graça	. Instalar os 2 ventiladores Korfmann AL 1200 no ramo 109-108 (G0700RA) Rolagem Graça		. Instalar os 2 ventiladores Korfmann AL 1200 no ramo 109-108 (G0700RA) Rolagem Graça			
Neves	. Construir uma chaminé para a zona Neves Norte de superfície ao nó 20, junção de CV60-2 e N900GV1 (313.70 m e 4.20 m de diâmetro). . Instalar nesta chaminé 2 ventiladores Korfmann KGL 180 (exaustão). . Retirar a porta de ventilação no ramo 55-54 (rampa de Neves). . Instalar 2 ventiladores Korfmann AL 1200 no nível de rolagem N700RO2 (ramos 75-76 e 77-79).		. Construir uma chaminé para a zona Neves Norte de superfície ao nó 20 junção de CV60-2 e N900GV1 (313.70 m e 4.20 m de diâmetro). . Instalar nesta chaminé 02 ventiladores Korfmann KGL 180 (exaustão). . Retirar a porta de ventilação no ramo 55-54 (rampa de Neves).			
Resumo	Ventiladores		Poço			
	Existentes	Novos	313.70 m, 4.2 m de diâmetro	Existentes	Novos	313.70 m, 4.2 m de diâmetro.
	2	4		2	3	Alargar a 4.2 m diâmetro, 387 m

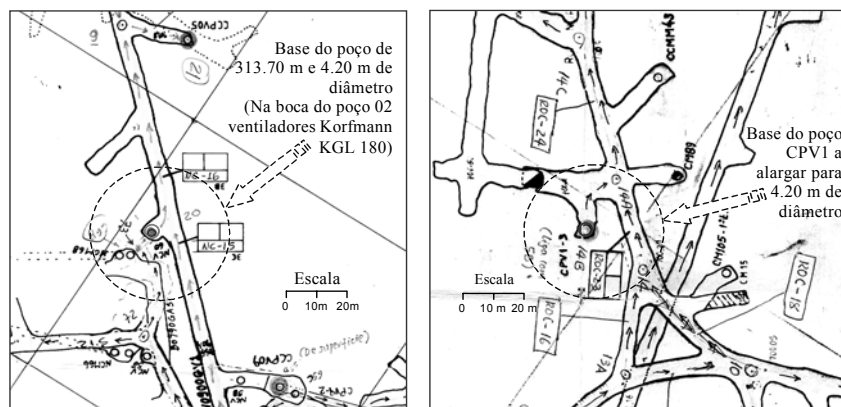


Figura 7.47 – Localização do poço Neves Norte para exaustão de ar poluído e do poço CPV1 a ser alargado na área Corvo para entrada de ar limpo

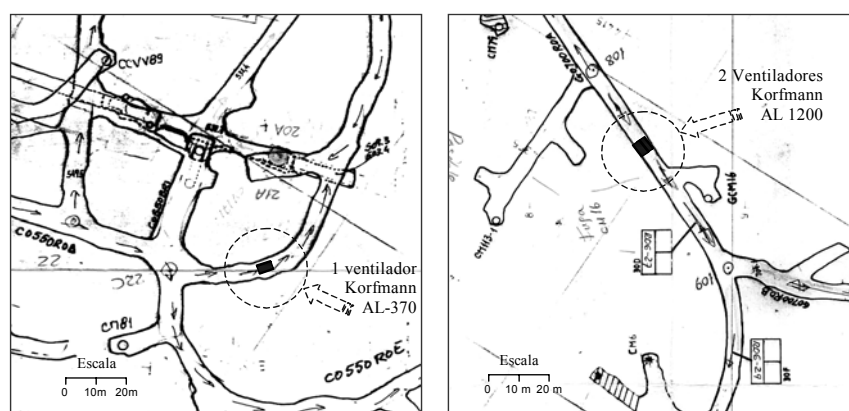


Figura 7.48 – Localização dos ventiladores auxiliares na área de Corvo e rolagem da Graça

Os trabalhos ou actividades necessárias para a concretização da alternativa 2 estão ilustrados nos mapas da fig. 7.47 e fig. 7.48.

O balanço de ar da alternativa 2 encontra-se representado na Tabela 7.23, onde se pode ver que é possível obter no ambiente subterrâneo um caudal total de $836.72 \text{ m}^3/\text{s}$, facto que resolve o problema de impacte ambiental.

Considerando um custo de 0.09 €/kW.h , a alternativa 2 consegue fornecer ar ao ambiente subterrâneo a um custo menor em 3.2% que as condições iniciais caracterizadas em Julho de 2000 (Tabela 7.24) com uma poupança de 66756.50 €/ano , podendo-se recuperar o investimento em 14 anos, portanto, esta alternativa é viável técnica e economicamente.

Tabela 7.23 – Balanço do ar com a alternativa 2, factor de fricção e resistência dos locais de entrada e saída do ar

Entrada				Saída			
Local	Caudal (m ³ /s)	Factor fricção (kg/m ³)	Resit. (Ns/m ⁴)	Local	Factor fricção (kg/m ³)	Resist. (Ns/m ⁸)	Caudal (m ³ /s)
CPV3	151.67	0.0269	0.0376	CPV02	0.0102	0.00836	215.34
Poço . Bárbara	105.33		0.07100	CPV04	0.0102	0.02162	211.25
CPV6	106.24	0.0111	0.08767	CPV05	0.0102	0.08972	126.46
Rampa de Castro	133.20	0.0083	0.01311	CPV08	0.0102	0.08242	101.85
CPV1	267.87	0.0056	0.17741	CPV Neves N	0.0102	0.01691	181.82
CPV9	72.05	0.0056	0.04185				
Total	836.72			Total			836.72

Tabela 7.24 – Custo de operação unitária comparativo entre a Alternativa 2 e as condições de referência caracterizadas em Julho de 2000

Condição	Potência instalada (kW)	Caudal total (m ³ /s)	Custo de operação (m ³ de ar/€)
Julho 2000	2046	647.00	12648.62
Alternativa 2	2563	836.72	13058.45

Em conclusão, o impacte térmico, dinâmico e volumétrico identificado em Julho de 2000, pode ser atenuado a níveis admissíveis pela legislação portuguesa, com as acções seguintes: a construção dum poço vertical de 4.2 m de diâmetro e 313.70 m de comprimento para exaustão mediante 2 ventiladores Korfmann KGL 180 (250 kW); com o alargamento do poço CPV1 a 4.2 m de diâmetro; com a mudança dos ventiladores Korfmann AL 1200 do acesso a CPV1 ao nível de rolagem Graça; e finalmente com a instalação de um ventilador auxiliar Korfmann AL12-370 no antigo OHV4 da área de Corvo, com um custo total de 961139.99 €.

Sendo o investimento em ordem de 961139.99 €, com uma poupança de 3.2% com custos de ventilação, o investimento é recuperável no prazo de 14 anos.

7.3.11. Monitorização e controle no ar da atmosfera subterrânea

O programa da monitorização e controle é extremamente importante, na medida em que permite verificar a efectividade da medida correctiva a aplicar, de modo que seja possível garantir uma qualidade ambiental consoante os padrões e normas em vigor.

Para este fim é importante o uso de aparelhagem de alta precisão e fiabilidade, tais com os indicados na Tabela 3.48, recomendando-se a realização de um programa para a rede primária e secundária (Tabela 7.25).

Tabela 7.25 – Programa monitorização e controle

Rede primária		Rede secundária (desmontes)	
Genérica	Detalhado	Normal	Especial (T _s > 31 °C)
Mensal (10 a 20 de cada mês)	Janeiro, Abril, Julho, Outubro (10 a 20 de cada mês)	Cada 15 dias (metade do mês)	Diário (em operação normal)

A monitorização genérica na rede primária deverá ser feita em estações correspondentes aos locais principais de escoamento do ar as áreas de Corvo, Graça e Neves. A de detalhe deverá ser realizada em todas as estações existentes.

Na rede secundária (acessos e desmontes), devem motorizar-se os locais onde existam operações de exploração.

A informação obtida deverá ser processada adequadamente e ser comparada com valores da medida correctiva aplicada, por forma realizar acções de reajuste, no caso em que seja necessário.

7.4. Impacte Ambiental Geotécnico

7.4.1. Caracterização geral

Para a aplicação da metodologia da avaliação do impacte ambiental geotécnico no ambiente subterrâneo da mina de Neves Corvo consideram-se duas áreas: rampa CRAM03 com secção de 5 m x 5 m e desmontes *Bench and Fill* da área Neves Norte. Como já foi indicado no item 7.2.2, as rochas são principalmente do grupo filito – quartzito (PQ) e complexo vulcano -sedimentar (CVS).

Segundo ensaios realizados pelo L.N.E.C (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) em 1987, a resistência à compressão uniaxial (RCU) das rochas do grupo PQ varia de 70 Mpa a 100 Mpa e do grupo CVS de 160 MPA a 200 Mpa, com massa volúmica média de 3200 kg/m³. Quando há presença de xistos negros fracturados e pouca quantidade de sílica o valor é aproximadamente de 30 Mpa.

O L.N.E.C. considera que o índice de RMR (Rock Mass Ratio) para estes tipos de rocha é de 70 e o coeficiente de Poisson de 0.20, encontrando-se este valor entre 0.15 a 0.30, segundo Hoek and Brown, 1980 (J. Lobato 2001, mina Neves Corvo). Aplicando a equação (5.21) resulta um módulo de elasticidade ou de Young que varia entre 31.60 a 40.00 Mpa.

Para esta mina, as principais tensões verticais e horizontais, utilizando a equação (5.16), com modificações recomendadas por Golder 1994 (J. Lobato 2001) são, $\sigma_1 = 0.032z$ (z é a profundidade em m), $\sigma_1 = \sigma_2$ (σ_2 é a tensão horizontal no sentido Norte Sul), $\sigma_3 = 0.5\sigma_1$ (σ_3 é a tensão horizontal no sentido Este Oeste).

7.4.2. Caracterização da área da rampa CRAM03 e desmontes Neves Norte

O índice RQD (Rock Quality Designation) do maciço rochoso da área da rampa CRAM03 determinado com base nas sondagens feitas para a avaliação do jazigo, encontra-se no Anexo 7.4. A Tabela 7.26 apresenta os valores dos parâmetros determinados, usando a escala da Tabela 5.3 que, servem de base para calcular o índice Q (*Tunneling Quality Index*).

Tabela 7.26 – Parâmetros geotécnicos para a determinação do índice Q (J. Lobato 2001, Neves Corvo)

Rocha/Parâmetros	J_n	J_r	J_a	J_w	SRF
CVS	12	2	2	1	1
PQ	6	3	2	1	1

Com estes dados, com as informações existentes nas estações de convergências (fig. 7.49) e aplicando a equação (5.2) para calcular Q, a equação (5.5) para calcular RMR e a equação (5.8) para calcular RMS, resulta caracterização geotécnica para a zona da rampa CRAM03 (Tabela 7.27).

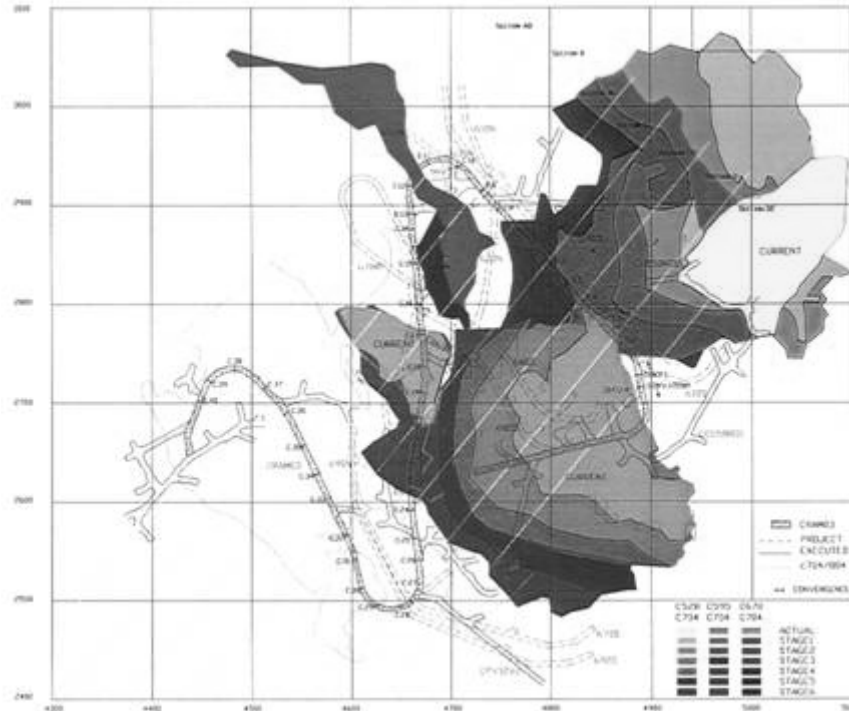


Figura 7.49 – Rampa CRAM03 em relação à localização dos desmontes adjacentes (J. Lobato 2001, Neves Corvo)

Em termos gerais o tipo de rocha presente na zona em análise é boa a muito boa, com presença de algumas zonas de qualificação média a má.

Os desmontes de Neves Norte localizam-se entre as cotas 760 m e 823 m sendo a largura da exploração varia de 5 m x 5 m com *Drift and Fill* e de 16 m de largura e altura máxima de 30 m com *Bench and Fill*. A figura 7.50 mostra a sequência de exploração projectada.

As rochas hospedeiras dos desmontes de Neves Norte são principalmente dois tipos: tufo vulcânicos com mineral fissural e sulfuretos (Mf) e Sulfuretos massivos (Sm). Estudos realizados por Golder em 1994 (*Bench and Fill Mining of Neves Orebody*) indicam que o ECU da rocha intacta é aproximadamente 160 Mpa, atingindo 210 Mpa em

zonas siliciosas, de acordo com os estudos laboratoriais do L.N.E.C. (130 Mpa a 220 Mpa), o índice Q é 9, o módulo de elasticidade (Young) 20000 Mpa, o coeficiente de Poisson 0.2 e o valor médio de RMR calculado com a equação (2.180) é de 65.1.

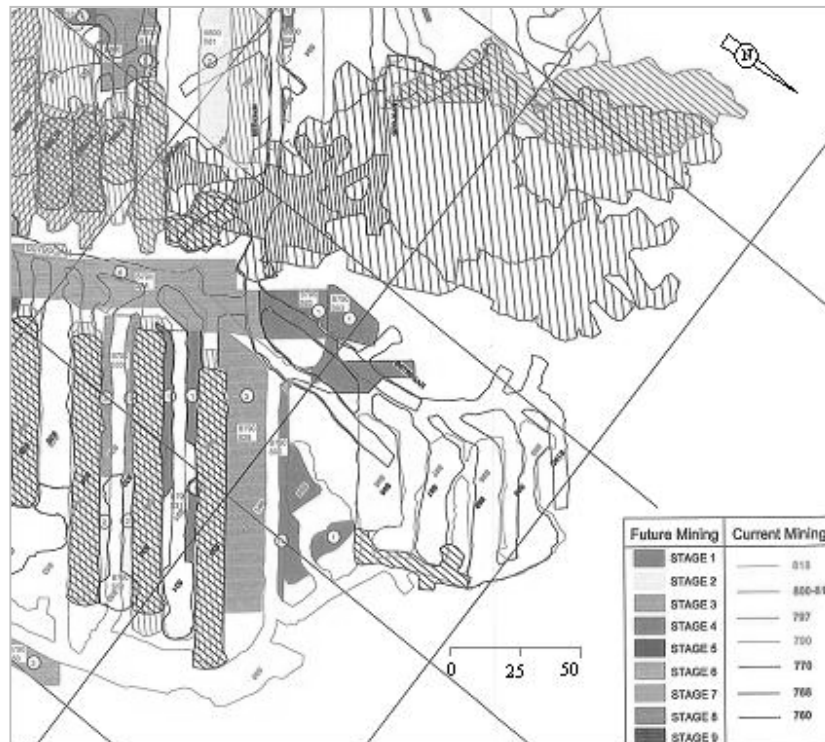


Figura 7.50 – Desmontes da zona Neves Norte (Estudos - Planeamento, Neves Corvo)

A orientação do conjunto de discontinuidades obtidas mediante mapeamento *in situ* (Tabela 7.28) indicam que o conjunto 1 é aproximadamente paralelo aos desmontes, pelo que afecta fortemente a estabilidade, o conjunto 2 é perpendicular ao conjunto 1 e afecta o pilar no final de desmorte e, quer a xistosidade, quer as juntas sub horizontais não afectam a estabilidade do pilar.

Tabela 7.27 – Características geotécnicas nas estações de convergências da rampa CRAMS03 (baseado em J. Lobato, mina Neves Corvo)

Estação Convergência	Cota	Tipo de rocha	RQD	Q	RMR	ECU	r_{ECU}	RMS
550-C1	559	CVSup	72	6.0	60.8	70	8	37.0
C2	566	CVSup	43	3.6	55.4	100	10	45.4
C4	573	CVSup	85	7.1	62.6	60	6	33.9
C6	579	PQ	28	7.0	72.2	170	18	75.5
C7	586	PQ	71	17.8	73.6	170	18	92.1
C9	592	PQ	81	20.3	73.5	170	18	94.5
C11	602	PQ	80	20.0	73.5	170	18	94.3

Tabela 7.27 (cont.) – Características geotécnicas nas estações de convergências da rampa CRAMS03 (baseado em J. Lobato, mina Neves Corvo)

Estação Convergência	Cota	Tipo de rocha	RQD	Q	RMR	ECU	r _{ECU}	RMS
C12	609	PQ	80	20.0	73.5	170	18	94.3
C15	618	PQ	52	20.0	68.9	120	12	94.3
C17	625	PQ	46	13.0	67.6	120	12	68.3
C20	636	PQ	40	11.5	66.2	50	6	66.8
C24	645	CVSinf	30	10.0	51.6	70	8	30.1
C27	655	CVSinf	30	2.5	51.6	70	8	30.5
C28	661	CVSinf	30	2.5	51.6	70	8	30.5
C31	666	CVSinf	30	2.5	51.6	70	8	30.5
C32	673	CVSinf	30	2.5	51.6	70	8	30.5
C34	683	PQ	90	22.5	74.7	170	18	96.4
C36	687	PQ	70	17.5	72.1	100	10	62.1
C37	691	PQ	80	20.0	73.5	120	12	73.7

Tabela 7.28 – Resumo do mapeamento geotécnico *in situ* (Departamento de Mecânica de rochas mina Neves Corvo)

Grupo de Diaclases	Inclinaç.	Rumo da inclinação	Abertura média (m)	Rugosidade	Textura	Enchimento
Família 1A	84°	145°	0.20	Ondulado	Rugosa	Alterado
Família 1b	88°	182°			Rugosa	Alterado
Família 2	88°	286°	0.50	Ondulado	Rugosa	Alterado
Xistosidade 3A	38°	028°	0.10	Ondulado	Lisa	Alterado
Xistosidade 3b	40°	320°			Lisa	Alterado

7.4.3. Dano do maciço rochoso provocado pela utilização de explosivos

As informações disponíveis serviram para caracterizar a rocha hospedeira da rampa CRAM03 (Tabela 7.29) e determinar os possíveis danos provocados pelos rebentamentos com uso de explosivos.

Com um consumo específico de carga explosiva de 2.5 kg/m³ para a secção de 25 m², avanço de 3 m, para o tipo de rocha em causa é preciso perfurar 53 furos, uma carag total de 187.5 kg de explosivo e 14.20 kg/retardo; portanto aplicando a equação (5.34) com coeficientes de Johnson a=0.085, b=0.73 e c=-1.87, resulta um valor médio de distância de 5.12 m para o tipo de rocha PQ e de 2.74 m para o tipo de rocha CVS com valor médio para ambos tipos de rocha de 3.93 m, na zona do maciço circundante à abertura da rampa CRAM03.

Tabela 7.29 – Dano do maciço rochoso provocado pela utilização de explosivos na rampa CRAM03

Classe de rocha	Massa volúmica (kg/m ³)	Velocidade sísmica (m/s)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tracção (MPa)	Espessura de rocha fractura (m)
PQ	3200	4000 - 6000	70 - 100	7 - 10	1.15 - 1.71
CVS	3200	4000 - 6000	160 - 200	16 - 20	0.33 - 0.56

7.4.4. Identificação do impacte ambiental geotécnico

7.4.4.1. Padrão de referência

Aplicando a equação (5.37) para os tipos de rocha hospedeiras da rampa CRAM03, obtém-se a curva limite do risco ambiental geotécnico (fig. 7.51). Com uso da equação (5.3) o diâmetro equivalente (D_e) para a rampa é de 2.78 e para os desmontes de Neves Norte de 8.89. Estes resultados indicam que não haverá riscos ambientais significativos na rampa CRAM03, mas nos desmontes o risco é eminente.

Com a finalidade de obter uma base sólida base que constitua o *padrão de referência*, considera-se o histórico do mapeamento geotécnico da rampa CRAM03, realizado pelo departamento de mecânica das rochas e de produção da mina de Neves Corvo, desde 1992 (Tabela 7.30). Para além disso, baseado na Tabela 7.27 e 7.30, determinaram-se indicadores para a avaliação do nível de impacte ambiental (Tabela 7.30).

Existindo na zona da rampa CRAM03 dois tipos de rochas com comportamento geotécnico diferente, a matriz base de avaliação do impacte ambiental geotécnico, considerando este facto, é a que se encontra na Tabela 7.32.

Tabela 7.30 – Histórico de danos registados e sistemas de suporte na rampa CRAM03 (baseado em J. Lobato, Neves Corvo)

Estação Conv.	Tipo de rocha	1992-94-96	Reabilitação 1996	Avaliação 2000	Total Conv (mm)	Variação Tensão (MPa) 1990-2000	Nível de danos
550-C1	CVSsup		Betão Projectado e parafuso de resina (25 mm)	Queda de blocos de xisto	26	-3.6	D3
C2	CVSsup		Betão Projectado e parafuso de resina (25 mm)	Betão projectado com algum estalido (teto e hasteais)	NA	0.2	D2
C4	CVSsup		Betão Projectado e parafuso de resina (25 mm)	Danos do betão projectado na parte da esquina superior esquerda	10	-4.2	D2
C6	PQ		Betão Projectado e parafuso de resina (25 mm)	Algum estalido de betão projectado	5	4.9	D1
C7	PQ		Parafuso de resina (25 mm)	Massivo e competente (pequenos blocos)	3	0.4	Nada
C9	PQ		Parafuso de resina (25 mm)	Terreno massivo e competente	4	1.9	Nada
C11	PQ		Parafuso de resina (25 mm)	Terreno competente	2	2.5	Nada
C12	PQ		Parafuso de resina (25 mm)	Terreno muito competente	4	0.5	Nada
C15	PQ	Juntas formam blocos cunhas com orientação não favorável	Parafuso de resina (25 mm)	Humidade na falha sem enchimento e rocha pouco competente	NA	2.0	D1
C17	PQ		Parafuso de resina (25 mm)	Irregularidade do tecto causado por falhas no terreno	4	7.0	D1

Tabela 7.30 (cont.)– Histórico de danos registados e sistemas de suporte na rampa CRAM03 (baseado em J. Lobato, Neves Corvo)

Estação Conv.	Tipo de rocha	1992-94-96	Reabilitação 1996	Avaliação 2000	Total Conv (mm)	Variação Tensão (MPa) 1990-2000	Nível de danos
C20	PQ	Fracturação do betão projectado até expor rocha(92) falhas profundas no teto(94)	Betão Projectado e parafuso de resina (25 mm)	Falhas no betão projectado, danos no tecto e esquinas superiores	20	3.7	D2
C24	CVSinf	Falha muito húmida com baixa coesão. Água deita material abaixo	Betão Projectado e pregagem cabo	Terreno pouco competente	10	0.5	Nada
C27	CVSinf	Terreno pobre devido à xistosidade da rocha	Parafuso de resina (25 mm)	Queda de xistos negros e blocos no hasteal direito	6	0.4	D1
C28	CVSinf	Terreno pobre devido à xistosidade da rocha	Betão Projectado	Rotura de betão projectado exteriormente	8	2.5	Nada
C31	CVSinf	Betão projectado completamente fracturado no teto e esquinas (92) e fracturação da rocha (95)	Betão Projectado	Rotura de betão projectado exteriormente	9	5.0	Nada
C32	CVSinf		Betão Projectado	Danos nas esquinas superiores, evidência de rotura de betão projectado	12	0.2	D2
C34	PQ	Xistosidade com pouca resistência no planos de contacto		Xistosidade ténue (40°)	3	0.8	Nada
C36	PQ	Teto não uniforme presença de material deitado por água	Pregagem cabo	Blocos de terreno entre duas falhas	2	10.6	Nada
C37	PQ			Terreno competente	3	8.8	Nada

D1: pequenos danos D2: dano médio D3: danos severos

Tabela 7.31 – Indicadores para identificação do nível de impacte ambiental geotécnico

Estaç. Conv.	550-C1	C 2	C 4	C 6	C 7	C 9	C 11	C 12	C 15	C 17	C 20	C 24	C 27	C 28	C 31	C 32	C 34	C 36	C 37
$\Delta\sigma$ (%)	42	51	4	1	25	13	2	3	19	37	11	3	14	11	2	28	-25	1	-17
$\Delta\sigma$ /RMS	24	23	2	0	6	3	0	1	6	11	7	2	8	6	1	16	-5	0	-5
$\Delta\sigma$ /ECU	12.6	10.6	1.3	0.1	2.9	1.5	0.2	0.3	3.1	5.8	4.0	0.7	3.6	2.7	0.6	7.0	-2.5	0.2	-3.0

Tabela 7.32 – Matriz base para a avaliação do impacte ambiental geotécnico na rampa CRAM03

Nível de impacte ambiental	Tipo de rocha							
	CVS				PQ			
	δ (mm)	$\Delta\sigma$ (%)	$\Delta\sigma$ /RMS	$\Delta\sigma$ /ECU	δ (mm)	$\Delta\sigma$ (%)	$\Delta\sigma$ /RMS	$\Delta\sigma$ /ECU
Leve ▽	$6 \leq \delta < 10$	$8 \leq \Delta\sigma < 14$	$5 \leq \Delta\sigma/\text{RMS} < 10$	$2.5 \leq \Delta\sigma/\text{ECU} < 4$	$3 \leq \delta < 5$	$17 \leq \Delta\sigma < 25$	$6 \leq \Delta\sigma/\text{RMS} < 12$	$2 \leq \Delta\sigma/\text{ECU} < 3$
Moderado ⊗	$10 \leq \delta < 19$	$14 \leq \Delta\sigma < 51$	$10 \leq \Delta\sigma/\text{RMS} < 23$	$4 \leq \Delta\sigma/\text{ECU} < 10$	$5 \leq \delta < 13$	$25 \leq \Delta\sigma < 37$	$12 \leq \Delta\sigma/\text{RMS} < 24$	$3 \leq \Delta\sigma/\text{ECU} < 5$
Alto ◆	$\delta \geq 19$	$\Delta\sigma \geq 51$	$\Delta\sigma/\text{RMS} \geq 23$	$\Delta\sigma/\text{ECU} \geq 10$	$\delta \geq 13$	$\Delta\sigma \geq 37$	$\Delta\sigma/\text{RMS} \geq 24$	$\Delta\sigma/\text{ECU} \geq 5$

Nos desmontes de Neves Norte consideram-se como base as observações realizadas em zonas acessíveis pelo departamento de mecânica das rochas da mina de Neves Corvo (Tabela 7.33).

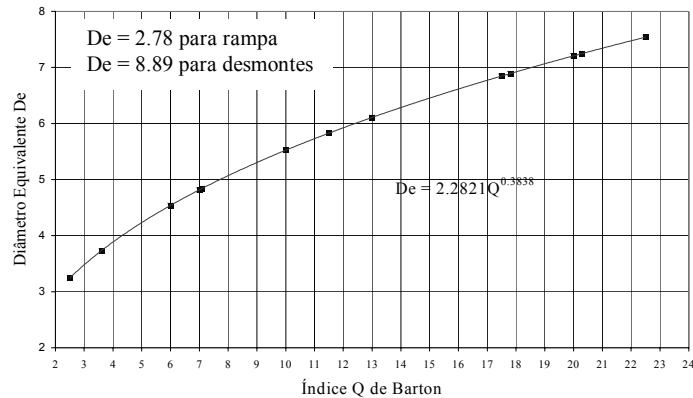


Figura 7.51 – Curva limite do risco ambiental geotécnico para a rampa CRAM03

Na área de Neves Norte escolhida para esta aplicação, existem também dois tipos de terreno, tendo sido elaborada a matriz base para identificação do nível de impacte ambiental para estes dois tipos de rocha (Tabela 7.34).

Tabela 7.33 – Observação de danos nos pilares de *Bench and Fill* da área de Neves Norte (Mecânica das Rochas de Neves Corvo, 2001)

Localiz. Pilar	Tipo Pilar	Cota (m)	Material	Largura L (m)	Altura H (m)	L/H	Carga/ ECU	ECU (MPa)	Resist. Pilar (MPa)	Tensão Pilar (MPa)	FS	Danos
S83/S84	Entrada	790	Sm	4	5	0.80	0.29	200	59	45	1.3	D1
S83/S84	Entrada	790	Sm	5	5	1.00	0.35	200	70	40	1.7	Nada
S81/S82	Entrada	810	Sm	5	5	1.00	0.35	200	70	40	1.7	D1
S81/S80	Entrada	810	Sm	5	5	1.00	0.35	200	70	35	2.0	Nada
S80/S1	Entrada	810	Sm	5	5	1.00	0.35	200	70	35	2.0	Nada
S1/S2	Entrada	810	Sm	10	5	2.00	0.58	200	117	35	3.3	Nada
S2/S3	Entrada	810	Sm	3	5	0.60	0.24	200	47	35	1.4	Nada
S3/S4	Entrada	810	Sm	5	5	1.00	0.35	200	70	35	2.0	Nada
S61/S43	Entrada	790	Mf	3	5	0.60	0.24	160	38	38	1.0	D3
S61/S43	Cost.	760/790	Mf	5	18	0.28	0.13	160	21	38	0.6	D3
S42/S62	Entrada	790	Mf	4	5	0.80	0.29	160	47	45	1.0	D3
S43/S62	Entrada	760	Mf	6	5	1.20	0.40	160	64	42	1.5	D1
S96/S97	Entrada	760	Mf	10	5	2.00	0.58	160	94	28	3.3	D1
S97/S98	Entrada	760	Mf	4	5	0.80	0.29	160	47	35	1.3	D2
S97/S98	Entrada	760	Mf	3	5	0.60	0.24	160	38	38	1.0	D3
S98/S99	Entrada	760	Mf	2	5	0.40	0.17	160	28	35	0.8	D3
S98/S99	Cost.	760/775	Mf	5	15	0.33	0.15	160	24	25	1.0	D3
S99/S100	Entrada	760	Mf	3	15	0.20	0.10	160	17	35	0.5	D3

D1: pequeno D2: dano médio D3: danos severos

Tabela 7.34 – Matriz base para a avaliação do impacte ambiental geotécnico nos desmontes Neves Norte baseado no factor de segurança, FS

Nível de impacte ambiental	Tipo de rocha	
	Sm	Mf
Leve ▽	$3 \geq FS > 2$	$3 \geq FS > 1.5$
Moderado ⊗	$2 \geq FS > 1.5$	$1.5 \geq FS > 1.0$
Alto ◆	$FS \leq 1.5$	$FS \leq 1.0$

7.4.4.2. Identificação do impacte ambiental geotécnico

Para a aplicação da metodologia proposta na rampa CRAM03 considera-se o resultado da modelização numérica com programa NFLOD, realizados por J. Lobato (Neves Corvo, 2001), de acordo com o planeamento de longo prazo desta mina, nomeadamente para o relativamente aos anos 2001 e 2003, obtendo-se a matriz de impacte ambiental apresentada na Tabela 7.35, determinada em função do indicador $\Delta\sigma/\text{RMS}$. Para o desmonte Neves Norte toma-se também como referência de aplicação os resultados da modelização com o mesmo programa para os mesmos anos, obtendo-se os resultados da identificação do impacte ambiental na Tabela 7.36.

Tabela 7.35 – Matriz do impacto ambiental geotécnico na rampa CRAM03

Estação Convergência	Tipo de rocha	Previsão para o ano 2001		Previsão para o ano 2003	
		$\Delta\sigma$ /RMS	Níveis de Impacte	$\Delta\sigma$ /RMS	Níveis de Impacte
550-C1	CVSSup	-5		-5	
C2	CVSSup	0		0	
C4	CVSSup	-5		-5	
C6	PQ	9	∇	-2	
C7	PQ	4		5	
C9	PQ	9	∇	10	∇
C11	PQ	9	∇	11	∇
C12	PQ	5	∇	5	∇
C15	PQ	10	⊗	14	⊗
C17	PQ	11	∇	3	
C20	PQ	6	∇	4	
C24	CVSinf	1		1	
C27	CVSinf	1		1	
C28	CVSinf	3		5	
C31	CVSinf	6	∇	9	∇
C32	CVSinf	1		3	
C34	PQ	10	∇	11	∇
C36	PQ	28	◆	40	◆
C37	PQ	30	◆	37	◆

Tabela 7.36 – Matriz de impacto ambiental geotécnico no desmorte Neves Norte em sulfureto massivo (Sm)

Avanço Exploração	Desmontes de exploração	Pilares de entrada no Bench and Fill				Pilares secundários no Bench and Fill			
		Pilar Resist. (Mpa)	Pilar Tensão (Mpa)	FS	Nível do impacte ambiental	Pilar Resist. (Mpa)	Pilar Tensão (Mpa)	FS	Nível do impacte ambiental
2001	S52+S10+S81	70	35	2.0	∇	70	35	2.0	∇
2003	S33+S29+S60D+S42+S1	70	45	1.6	⊗	70	35	2.0	Não existe

As matrizes de impacto ambiental geotécnico levam a concluir que, pela influência dos avanços dos desmontes em zonas próximas à rampa CRAM03, nos anos 2001 a 2003, dum total de 19 estações, não existiria nenhum impacto ambiental num total de 8 a 11 (50%), respectivamente. Haveria assim, um nível de impacto ambiental geotécnico *leve* em 5 a 8 estações (33%), respectivamente, um impacto *moderado* numa estação (C15) e *alto* nas duas estações (C36, C37) que representam 17%.

Nas frentes de exploração de Neves Norte no ano referencial de 2001 existiria um risco ambiental *leve* nos desmontes S52, S10 e S81 e no ano de 2003 um impacto ambiental *moderado* nos desmontes S33, S29, S60D, S42 e S1.

7.4.5. Medidas correctivas para a atenuação do risco ambiental geotécnico

A aplicação da técnica de dimensionamento de sistemas de suporte (item 5.6.3) para zonas onde o maciço rochoso, circundante às aberturas subterrâneas, apresentam risco ambiental geotécnico é realizar em base no índice Q (determinado em bases no índice RMR) (Tabela 7.37) e a dimensão equivalente D_e .

Para a escolha do tipo de suporte usou-se o programa GDA (*Geomechanical Design Analysis*) que se baseia nos modelos geotécnicos de Barton e Grimstad, nos valores do índice Q (das áreas da rampa CRAM03 e desmontes de Neves Norte) e com a dimensão equivalente das aberturas, calculadas com a secção da rampa que é de 5 m e dos desmontes 16 m, usando o valor do factor ESR de 1.8 (Tabela 5.4).

Tabela 7.37 – Índices para a escolha do sistema de suporte para mitigar o impacte ambiental geotécnico identificado

Índices/Local	Rampa CRAM03			Desmontes Neves Norte
	C15	C36	C37	S33+S29+S60D+S42+S1
RMR	68.9	72.1	73.5	65.1
Q	20.0	17.5	20.0	9.0
D_e	2.80	2.80	2.80	4.60

O programa GDA é um programa que examina a estabilidade de aberturas subterrâneas, nomeadamente para desenho de túneis, galerias, rampas e desmontes de minas subterrâneas.

O GDA inclui análise relacionada com a classificação do maciço rochoso, utilizando o RMR, GSI, Q e Q'; determinação das propriedades do maciço rochoso para modelação numérica; vão, suportes e análise de sensibilidade de RMR e valores de Q; análise e dimensionamento do sistema de suporte por cabos (*cablebolting*); análise das tensões em galerias e desmontes de varias formas e em 2-D; análise da sensibilidade das tensões devido a sequência de aberturas considerando forma, tamanho e orientação; análise tetraedral de cunhas em túneis, galerias, rampas, intersecções e desmontes em 3-D; análise da sensibilidade da estabilidade das cunhas em termos de forma, tamanho, orientação de galerias e túneis, intersecção e desmontes; e análise do sistema de suporte de cunhas mediante parafusos e estruturas

Os mecanismos de instabilidade em aberturas subterrâneas encontram-se relacionados com a descontinuidade estrutural (falhas) de maciços rochosos que podem formar blocos no tecto e hasteais da escavação (Hoek & Brown, 1980). O módulo do programa relacionado a este aspecto, analisa a dimensão da abertura em relação à qualidade da rocha, cujo resultado é útil para selecção do tipo de suporte.

O resultado da simulação para a *rampa CRAM03* (fig. 7.52) indica que não é necessário aplicar nenhum tipo de suporte, mas para zonas onde existe risco de desabamento da rocha é necessário aplicar pregagem com parafusos pontuais de 2.4 m de comprimento e 20 mm de diâmetro e, para os *desmontes*, aplicar pregagens sistemáticas com parafusos de 3.5 m de comprimento e 20 mm de diâmetro e espaçamento de 2.5 m (Tabela 5.18), com uso ocasional de rede metálica.

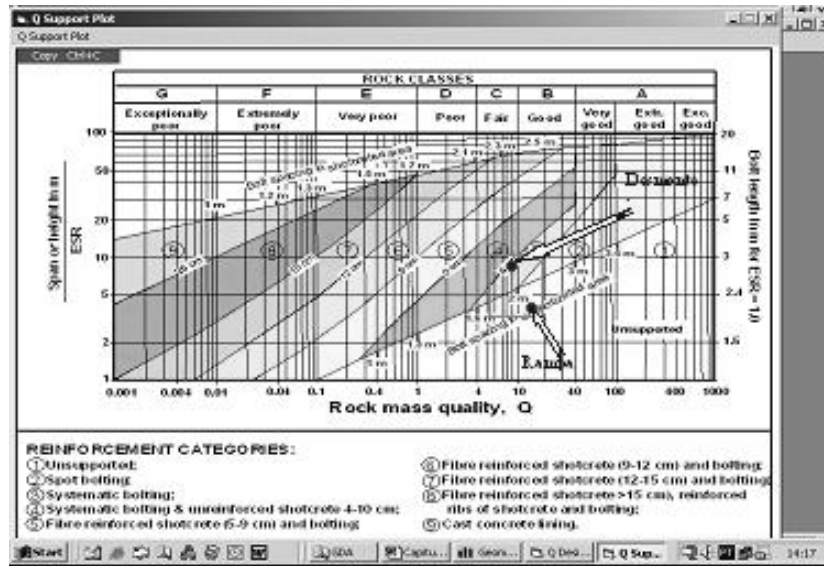


Figura 7.52 – Determinação da medida correctiva com o ábaco de Barton e Grimstad (software GDA)

7.4.6. Monitorização e controle geotécnico

A monitorização e o controle geotécnico deverão realizar-se de forma constante e permanente, mediante metodologia e aparelhagem indicadas no item 3.7 do capítulo 3, da segunda parte do trabalho de investigação, visando obter uma qualidade ambiental aceitável pelos padrões de referência preestabelecidos.

Capítulo 8

APLICAÇÃO À MINA DA PANASQUEIRA

8.1. Introdução

A aplicação da metodologia da Engenharia Ambiental Subterrânea (EAS), proposta no capítulo 2 da primeira parte (item 2.5 e fig. 2.14) e desenvolvida na segunda parte deste livro, à mina da Panasqueira é realizada nos três domínios ambientais: ar da atmosfera subterrânea, água subterrânea e maciço rochoso.

A aplicação da EAS a mina da Panasqueira, no aspecto dinâmico e volumétrico, é realizada usando a metodologia e modelos matemáticos desenvolvidos no item 3.4 e fig. 3.47, em relação a gases tóxicos os do item 3.2 e fig. 3.31, acerca de poeiras os do item 3.3 e fig. 3.39, relativamente ao ruído os do item 3.7 e fig. 3.76, com respeito à água subterrânea os do Capítulo 4 e fig. 4.19 e finalmente, quanto à rocha os do Capítulo 3 e fig. 5.20.

A aplicação no domínio ambiental do ar da atmosfera subterrânea é apenas nas alterações ambientais provocadas no aspecto dinâmico, volumétrico, poeiras, gases e ruído. Não é considerado o aspecto térmico, na medida em que, esta mina é pouco profunda pelo que não apresenta nenhum risco ambiental térmico.

No domínio ambiental da água subterrânea a aplicação é realizada em relação à alteração da condição natural da quantidade e qualidade.

A aplicação no domínio ambiental rocha é na parte relacionada com os danos do maciço rochosos circundante, às aberturas provocadas pela acção dos disparos com explosivo nos desmontes de exploração.

8.2. Definição do Âmbito de Acção

8.2.1. Localização geográfica e clima

A mina de Panasqueira, propriedade da empresa Beralt Tin & Wolfram (Portugal) S. A. é produtora de Volfrâmio a um ritmo médio de 320000 toneladas de minério e 1330 toneladas de WO_3 por cada ano. Está localizada na vertente sul da cordilheira montanhosa da Serra da Estrela a uma altitude de cercade 700 metros, na aldeia de Barroca Grande, a 60 quilómetros a Este de Coimbra e a 250 quilómetros a noroeste de Lisboa (fig. 8.1 esquerda).

O clima é típico da região montanhosa das Beiras e da península Ibérica com temperatura média baixa de 7.5 °C e alta de 24 °C (fig. 3.53 direita) (Naique, R., 2001).

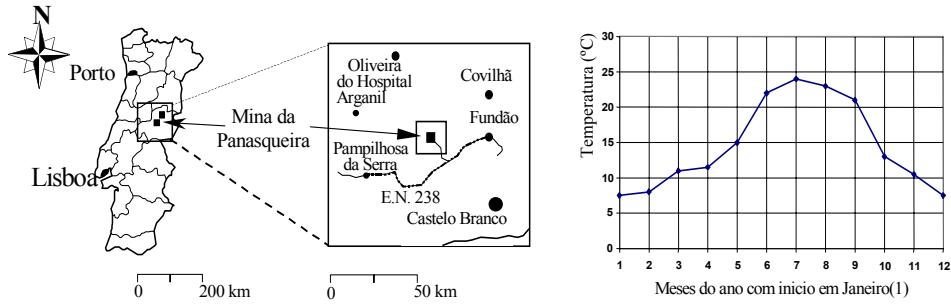


Figura 8.1 – Localização geográfica e variação média mensal da temperatura da mina da Panasqueira

8.2.2. Maciço rochoso e jazigo mineral

O maciço rochoso é constituído, fundamentalmente, por xistos com diferentes graus de metamorfismo, originados por uma intrusão granítica subjacente e por filões quartzosos onde residem as mineralizações úteis (fig. 8.2).

A zona mineralizada consiste em filões quartzosos, sub-horizontais, que se sobrepõem e preenchem juntas de fracturas ocorrentes em rochas *xistosas* (fig. 8.33), com possança média de 30 a 40 cm, sendo o mineral principal, objecto da exploração, a volframite. Para além deste mineral ocorre uma grande variedade de outros minerais tais como: cassiterite, calcopirite, blenda, topázio, apatite, fluorite, mica e marcassite.

O minério produzido tem um teor médio de 4.2 kg WO₃/tonelada (31.04 kg/m², extraído actualmente do nível 3, com alguma possibilidade de ampliar no futuro ao nível 4.

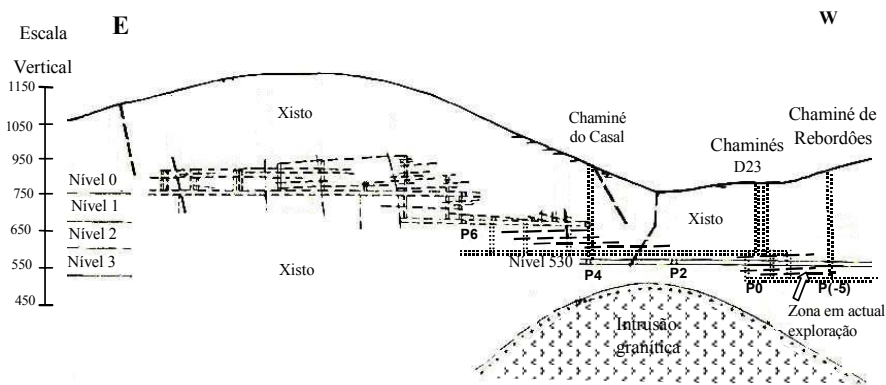


Figura 8.2 – Corte geológico e zonas de exploração do jazigo de Panasqueira

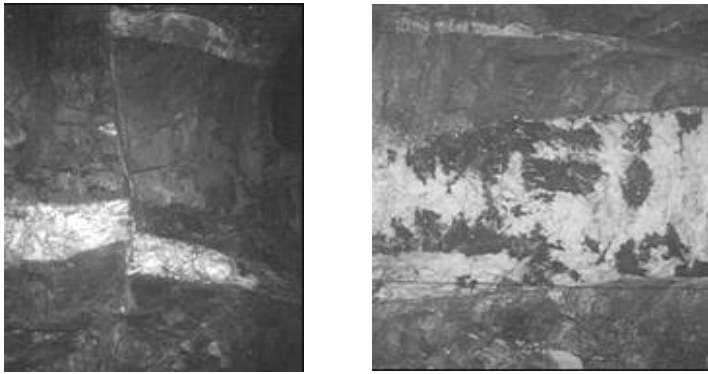


Figura 8.3 – Filão de quartzo com disseminações de volframite em xisto (rocha encaixante)

8.2.3. Ambiente subterrâneo

As aberturas realizadas (pelo homem) no maciço rochoso (xisto) para fins da exploração do Volfrâmio (fig. 8.4.), constituem o ambiente subterrâneo onde existe a interacção do ar, água subterrânea e maciço rochoso.

Actualmente, o acesso principal é realizado mediante a rampa de Rebordões até o nível 1, a partir deste nível acede-se ao nível 2 mediante a rampa D13 e finalmente entre o nível 2 e nível 3 pelas rampas L2/L3, D15, D19 e D23.

As aberturas subterrâneas dos níveis 1, 2, 530 e 3, estão ligadas através de um sistema de chaminés verticais de ventilação e de minério, construídos com *raise boring*, cujas alturas variam de 30 a 60 metros e diâmetro de 1.82 metros.

Para o processo de britagem primário do minério, existem os equipamentos operando na câmara denominada *quebragem*, ligada à lavaria mediante o poço de correias chamado Santa Bárbara. Esta câmara está localizada na união do poço referido com o nível 530, além disso existe uma estação de bombagem de água subterrânea a cerca de 10 metros abaixo do nível 3 e na zona norte.

Existem também aberturas subterrâneas para o paiol, para oficinas de manutenção de equipamentos, entre outros.

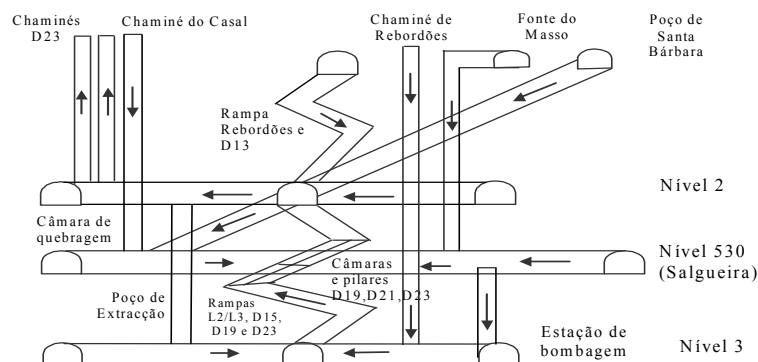


Figura 8.4 – Esquema geral das aberturas subterrâneas da mina da Panasqueira

As áreas de interesse para o presente estudo são aquelas onde se verifica a presença de homens, como as do nível 2 e nível 3, sendo de maior interesse as frentes de exploração (desmontes) concentradas entre estes dois níveis.

As aberturas subterrâneas nas frentes de exploração são geradas pelo processo produtivo, realizado mediante o método de câmaras e pilares. As câmaras são de 5 m de largura e 2.2 m de altura, abertas com jumbos electro-hidráulicos e LHDs diesel, com pilares iniciais de 11 m x 11 m, que são recortados em três fases até a atingirem pilares de 3 m x 3 m (fig. 8.5).

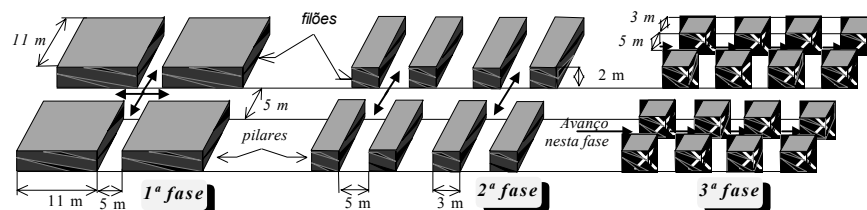


Figura 8.5 – Ambiente subterrâneo nas frentes de exploração da mina da Panasqueira (Bernardo, P. A. M., 1995)

Os desmontes em actual exploração acedem-se pelas rampas D19 e D23, e são os denominados AW30, AW31, AW32, AW33, AW34, AW35 e AW36 localizados entre o nível 3 e o nível 2.

O minério é removido e transportado até as chaminés verticais (Rs) com pás diesel. Estas chaminés são usadas como silos, pelas quais o minério desce até as galerias (Ps e Ds) do nível 3 por acção da gravidade. Neste nível (pela parte inferior das chaminés de minério) o minério é descarregado em vagões (locomotiva *trolley*) e é transportado até o poço de extracção onde, mediante um guincho eléctrico e jaula é extraído para o nível 2. Neste último nível o minério é transportado com locomotivas de bateria para os silos (P4) que alimentam à câmara de quebragem. Finalmente, realizada a britagem primária, é extraído pela correia transportadora instalada no poço de Santa Bárbara até a superfície onde é processado na lavaria.

8.3. Avaliação do impacte ambiental na atmosfera subterrânea

8.3.1. Caracterização da atmosfera subterrânea

8.3.1.1. Identificação preliminar dos circuitos de ar

O ar que escoo nas aberturas subterrâneas da mina da Panasqueira é de origem mista ou seja de sistema natural e forçado (2 ventiladores de 80 hp cada um).

Ao serem iniciados os estudos (Dezembro de 2000), os dois ventiladores trabalhavam como exaustores através da chaminé do Casal, com entradas de ar exterior pelo Poço de Santa Bárbara, pela rampa de Rebordões, pela chaminé D1.P2xS (Fonte do Masso), pela chaminé L0/L2(P4), pela chaminé de Rebordões, pela galeria da Salguiera e pela chaminé D23W. Pela chaminé D23E existia saída de ar, mesmo não existindo nenhum ventilador instalado.

Antes das medições dos parâmetros térmicos, dinâmicos e volumétricos, procedeu-se, em gabinete, a predefinir o sentido do ar, os ramos e nós de todas as aberturas subterrâneas, com base nos mapas existentes e informação da área de ventilação da mina. A fig. 8.6 ilustra, como situação de referência, esta acção realizada na área do poço de extracção do nível 2.

As estações de medição foram definidas em zonas adequadas de cada trecho e aproximadamente na parte média do seu comprimento.

8.3.1.2. Instrumentos utilizados e metodologia de medição

Os instrumentos utilizados foram os do Laboratório de Engenharia do Ambiente Subterrâneo L.E.A.S. da Secção de Exploração de Minas do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa e são os seguintes:

- Um termo/higrómetro Casella London Ltd de temperatura de bolbo seco e húmido;
- Um anemómetro IRFLOW LCA 6000 digital e de leitura discreta para medição da velocidade de ar.

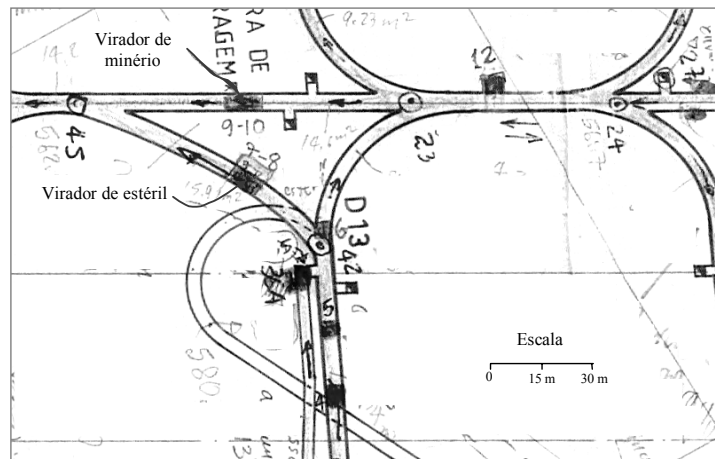


Figura 8.6 – Exemplo da predefinição do sentido do escoamento do ar, ramos e nós na área do virador de minério e de estéril (galeria P4 e D13) do nível 2

- Um barómetro AIRFLOW digital de leitura contínua para medição da pressão barométrica;
- Uma mira topográfica e fita métrica de aço de 5 metros para medições da secção;
- Uma bomba manual de pó de alumínio para identificar o sentido de escoamento de ar de baixas velocidades;
- Uma bomba AUGER GAS TESTER II da MAS para a medição dos gases CO, CO₂, SO₂ e H₂S;
- Tubos detectores PR 820 e PR 822 para CO, PR 817 para CO₂, PR 803 para SO₂ e PR 826 para H₂S;
- Um detector de NO₂ de 0 a 100 ppm com sensor electroquímico G816-N;

- Um detector de NO de 0 a 1000 ppm com sensor electroquímico G818;
- Um colector de poeira de alto volume CAV-A/HF com caudal regulável de 40 a 90 m³/h para aversão equipada com filtro rectangular;
- Filtros para o CAV-A/HF de tipo Wharman GF/A;
- Uma calculadora portátil.

As temperaturas e velocidade do ar foram medidas em 5 pontos da secção (fig. 8.7 esquerda), registando-se o valor médio das cinco leituras.

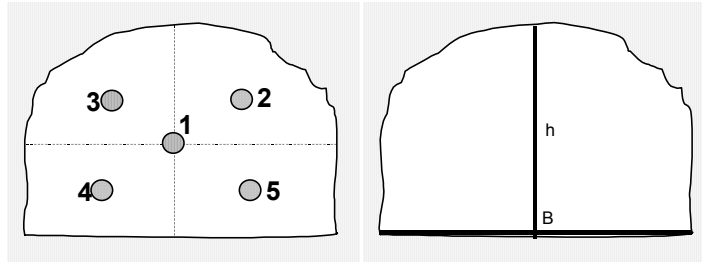


Figura 8.7 – Pontos de medição da velocidade e medições para o cálculo da secção das aberturas subterrâneas

Para a determinação da secção foi medida a largura (B) e altura (h) (fig. 3.59 direita) e calculada pela relação simples de $B \times h$ e nos casos de secções com arco no tecto a secção foi calculada com um factor de 0.95 ($B \times h$) que resultou da comparação com secções medidas pelo departamento de topografia.

8.3.1.3. Medições dos parâmetros dinâmicos e volumétricos

As medições iniciais dos parâmetros dinâmicos e volumétricos do ar (fig. 8.8), foram realizadas em condições de operação normal da mina e com os dois ventiladores principais a funcionar.

As medições da velocidade, das temperaturas, da pressão barométrica, da secção, a caracterização das irregularidade dos hasteais, do grau de obstrução, da sinuosidade das aberturas, do tipo de rocha, e do tipo de suporte ou revestimento da superfície das aberturas, foram realizadas no mês de Dezembro de 2000, cujos resultados se encontram no Anexo 8.1 e o circuito de ar ilustrado na fig. 8.9.

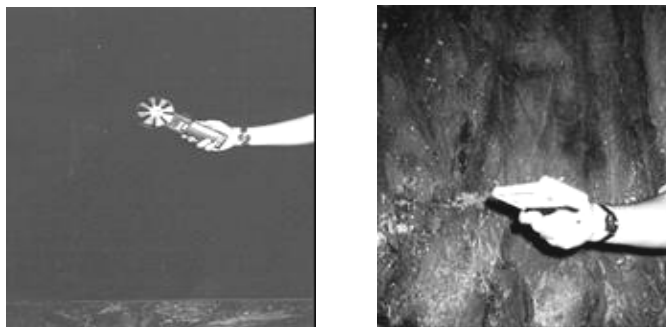


Figura 8.8 – Medições de velocidade e temperatura

8.3.1. 4. Medições de poeiras e gases

As poeiras e gases resultam das actividades operacionais de rebenamentos com uso de explosivo (ANFO), remoção (LHDs), transporte de estéril (dumpers), extração, transferência do material dos vagões aos silos de alimentação da câmara de quebragem (viradores de minério), no processo de britagem (britagem primário no subsolo) e nos pontos de transferência no transporte realizado através de correias como o caso da cabeça de correia.



Figura 8.10 – Medição de gases com AUGER GAS TESTER II e de poeiras com CAV-A/HF

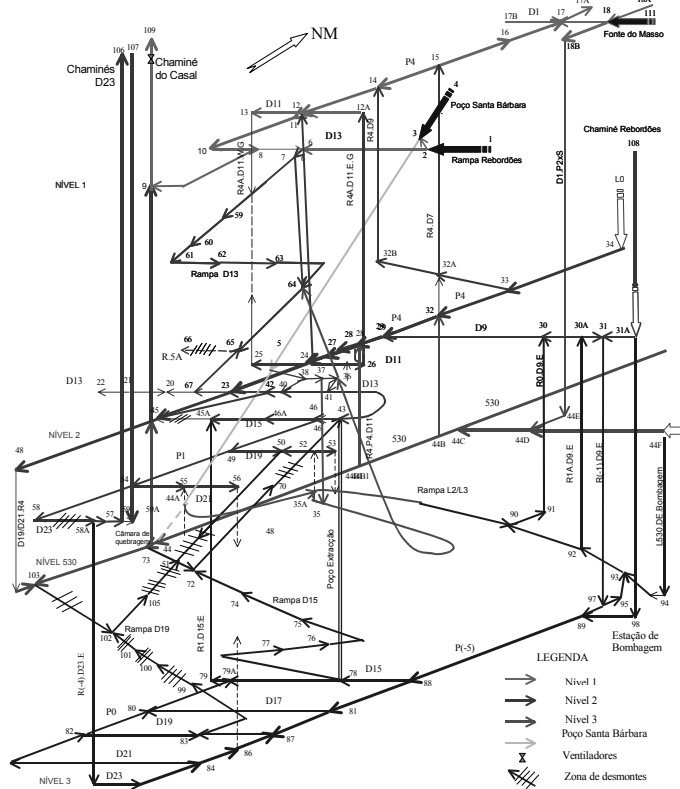


Figura 8.9 – Rede de ar (inicial) caracterizada no mês de Dezembro de 2000

A campanha de captação de poeiras (fig. 8.10 direita) foi realizada nos locais com produção de poeiras: desmontes, poço de extracção no nível 2 e nível 3, virador de mineral no nível 2, câmara de quebragem e cabeça de correia; utilizando o Colector de Alto Volume – CAV dotado de um filtro. As amostras colectadas pelo CAV-A/HF foram pesadas no laboratório da mina da Panasqueira (Anexo 8.1).

A amostra que apresentou maior concentração foi objecto duma análise química elementar por espectrometria de fluorescência de raios X em dispersão de comprimento de onda e a análise mineralógica por difracção de raios X, no laboratório do Departamento de Engenharia de Minas e Georrecursos (Tabela 8.1).

Tabela 8.1 – Resultados da análise química elementar por Espectrometria de Fluorescência de Raios X e Mineralógica por Difracção de Raios X (Laboratório do Departamento de Engenharia de Minas e Georrecursos do IST, 2001)

Análise por EFRX (4 espectros)*		Análise por DRX (1 espectro)**	
Cu, K, Si e Al	muito abundante	Quartzo (Qz)	muito abundante
As, Zn e Fe	abundante	Moscovite/Ilite (M/I)	presente
W, Ti e Mg	presente	Caulinite/Haloisite (K/H)	vestigial
Zr, Y, Sr, Rb, Ni, Mn, Cr, ba, Ca, Sn, S e P	vestigial	Fases não cristalizadas e/ou matéria orgânica	vestigial
		Hematite (H)	vestigial
		Feldspato (F)	vestigial

* Os elementos Zn, Cu, S, P e Si são vestigiais no “branco” utilizado no ensaio.

** Na leitura dos valores de 20° deve ter-se em conta um erro +0.2°20 (-0.03°A) para valores de 20° < 40°.

As medições dos gases foram realizadas principalmente em locais com presença do homem e operação dos equipamentos diesel (fig. 3.62 esquerda), cujo resultado está no Anexo 8.3. O oxigénio O₂ e outros gases não foram medidos nesta campanha, mas consideram-se as medições feitas anteriormente utilizando o EXOTOX 60, que usam sensor de gás neutrónico incorporado (Tabela 8.2).

Tabela 8.2 – O oxigénio presente no ambiente subterrâneo (Bernardo, P. A. M. 1999)

Pontos	Localização	O ₂ (%)	Cl ₂ (ppm)	LEL(%)
1	P4/D17	19.40	0.00	1.00
2	P4/D15	19.50	0.00	1.00
3	P4/D19	19.40	0.00	0.00
4	P1/D17	19.40	0.00	0.00
5	L2 Ofic. de electricidade e serralharia	19.40	0.00	0.00
6	Frente de desmonte já explorada	19.20	0.10	1.00
7	Desmonte com LHD a trabalhar	19.20	1.70	1.00
8	Junto do tambor de extracção	20.00	0.00	0.00

8.3.1.5. Síntese da caracterização da situação dinâmica e volumétrica

As variações da velocidade e caudal medidos no ambiente (espaço) subterrâneo, encontram-se ilustradas nas figuras 8.11, 8.12, 8.13, 8.14, 8.15 e 8.16.

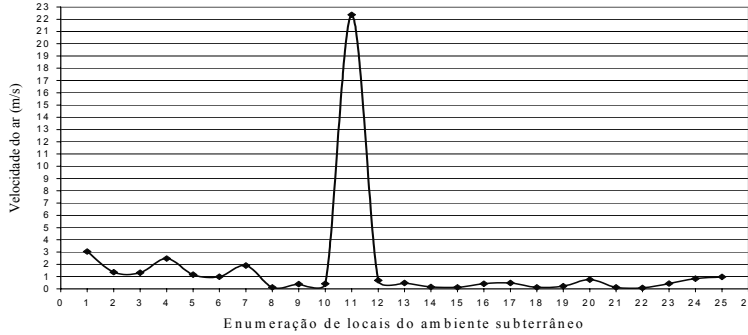


Figura 8.11 – Variação da velocidade do ar no nível 1

a) No nível 1 os valores de *pico da velocidade e caudal* de ar atingem os 22 m/s a 56 m³/s respectivamente, que correspondem à chaminé do Casal que na altura da caracterização (Dezembro de 2000), constituía a saída do ar pela acção da exaustão de dois ventiladores instalados na boca desta chaminé. Os caudais entre 15 a 39 m³/s correspondem ao Poço de Santa Bárbara e à rampa de Rebordões. Existem ambientes com velocidades e caudais baixos. A presença do pessoal neste nível verifica-se fundamentalmente na rampa de Rebordões, no poço de Santa Bárbara e na rampa D13.

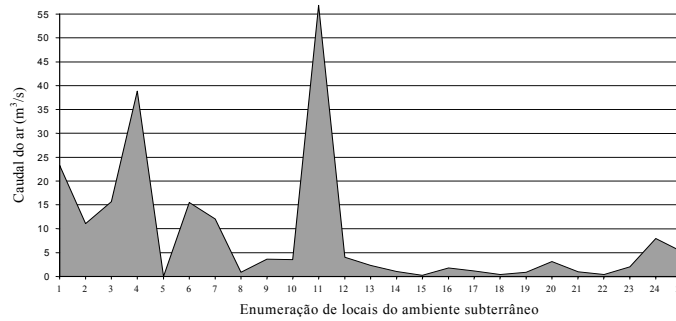


Figura 8.12 – Variação do caudal do ar no nível 1

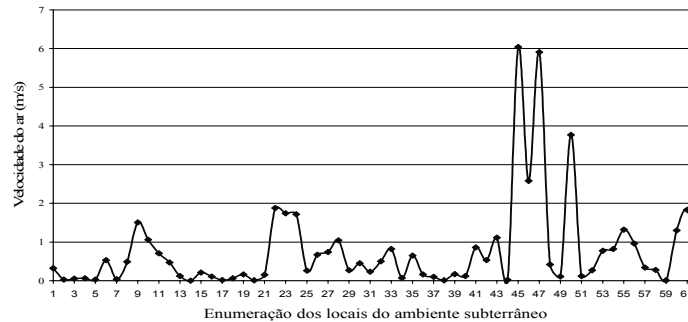


Figura 8.13 – Variação da velocidade do ar no nível 2

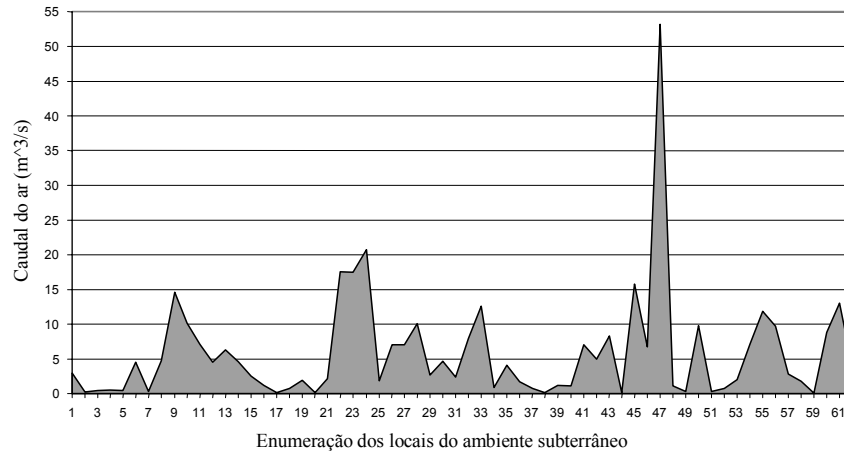


Figura 8.14 – Variação do caudal do ar no nível 2

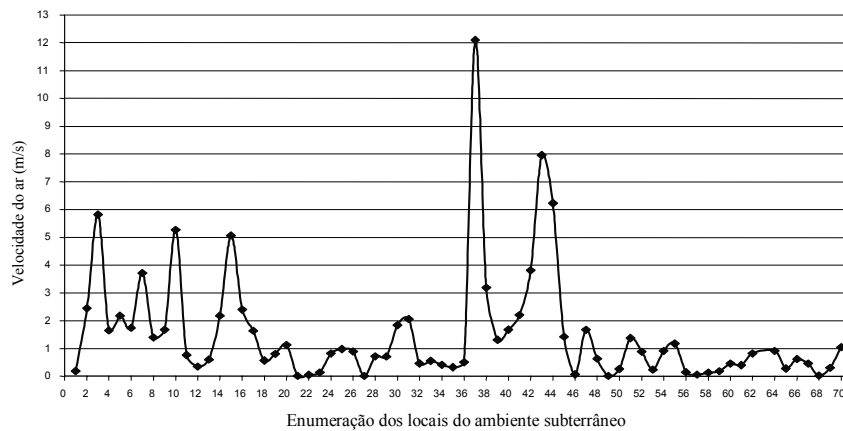


Figura 8.15 – Variação da velocidade e caudal do ar no nível 3

b) No nível 2 as velocidades de pico de 6 m/s correspondem às chaminés de D23E e Casal, sendo o caudal de pico de 53 m³/s correspondente à chaminé do Casal. Existem locais onde as velocidades e caudais são baixos e risco ambiental evidente, porque neste este nível se encontra sistema de extracção com presença de pessoal.

c). Nas aberturas subterrâneas do nível 3 registaram-se velocidades máximas de 8 a 12 m/s e caudais de 23 a 30 m³/s que correspondem á chaminé de Rebordões e Galeria L3.P(-5). Nestas zonas as velocidades e os caudais são muitos baixos em alguns locais, principalmente nos acessos aos desmontes. Sendo os desmontes os locais produtores de minério por excelência, é evidente que neste ambiente exista o maior risco ambiental, pelo facto de trabalharem LHDs diesel e estarem expostos uma quantidade considerável de trabalhadores.

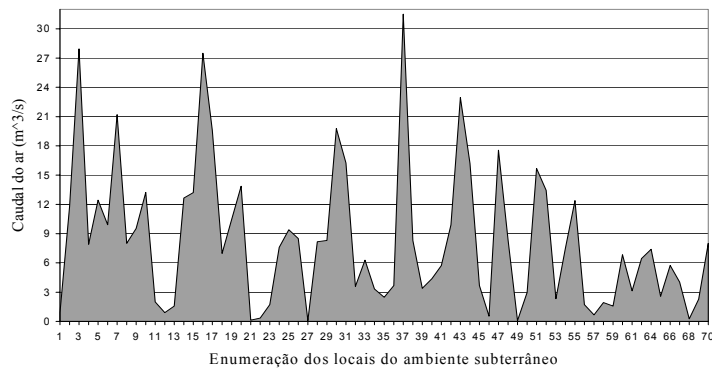


Figura 8.16 – Variação do caudal do ar no nível 3

O balanço global de ar do ambiente subterrâneo, baseado nas medições analisadas em Dezembro de 2000, encontra-se na Tabela 8.3, resultando 73.83 m³/s de entrada de ar limpo e 72.50 m³/s de saída de ar poluído, com uma diferença aceitável de 1.79%.

Estudos realizados (Navarro Torres, V.F., 2001) mostram que na rede primária da mina da Panasqueira a influência da ventilação natural varia entre 50 a 70%.

d) Para caracterizar a velocidade e caudal do ar nos desmontes realizaram-se medições entre 6 e 18 de Setembro de 2001, com 2 ventiladores de 80 hp ligados nas chaminés D23E e D23W, um na R-4.D23 e outro na rampa D19.L3. Quando a temperatura exterior era de 15 °C a 18 °C nos desmontes registavam-se de 17.5 °C a 19 °C.

Tabela 8.3 – Balanço de ar em Dezembro de 2000

Entrada		Saída	
Local	Caudal (m ³ /s)	Local	Caudal (m ³ /s)
Poço de Santa Bárbara	15.70	Chaminé do Casal	56.80
Rampa de Rebordões	23.30	Chamié D23.E	15.70
L0/L2 (P4)	2.00		
Chaminé de Rebordões	20.37		
Galeria de Salgueira	5.76		
Chaminé D23.W	6.70		
Total	73.83	Total	72.50

Os gráficos das fig. 8.17 e fig. 8.18 representam o resultado das medições feitas utilizando os mesmos aparelhos que possam usados para ventilação principal, constatando-se que em 50% a 60% dos locais, o aparelho não registou a velocidade do ar, indicando isto que o escoamento de ar era realizado com velocidade inferior a 0.01 m/s (capacidade do anemómetro).

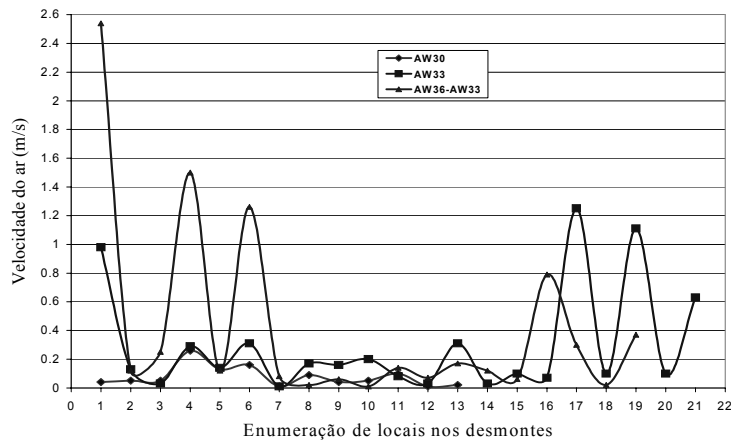


Figura 8.17 – Variação da velocidade do ar nas frentes de exploração (desmontes)

No gráficos referidos nota-se que a velocidade e caudal apresentam uma proporção aproximadamente directa, devido ao facto de que as câmaras têm uma abertura relativamente constante e próxima de 12 m². Os valores de pico da velocidade e do caudal (1.2 a 2.4 m/s e 13 a 20 m³/s) correspondem às rampas D19, D15 e D23. Nas câmaras ou áreas de trabalho dos desmontes (áreas que não foram possíveis de medir), verificaram-se valores baixos de 0.20 m/s e 2 m³/s para velocidade e caudal, respectivamente.

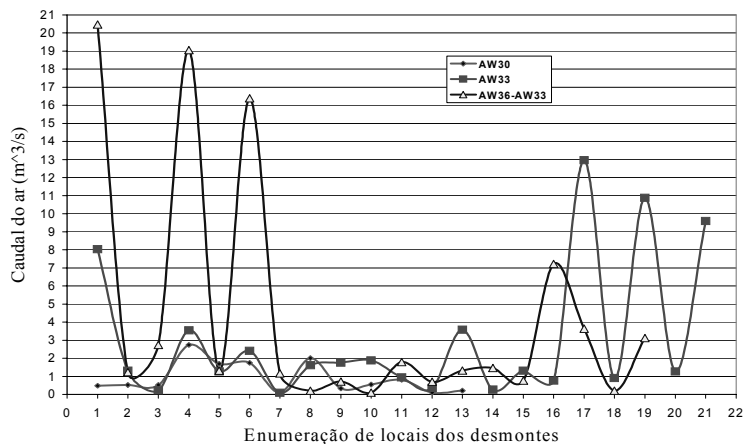


Figura 8.18 – Variação do caudal de ar nas frentes de exploração (desmontes)

8.3.1.6. Caracterização da situação de poeiras e gases

Os resultados de medições de poeiras realizadas (Anexo 8.1 e fig. 8.19) mostram uma variação da concentração de 0.4024 mg/m³ (402.40 µg/m³) a 5.4305 mg/m³ (5430.05 µg/m³).

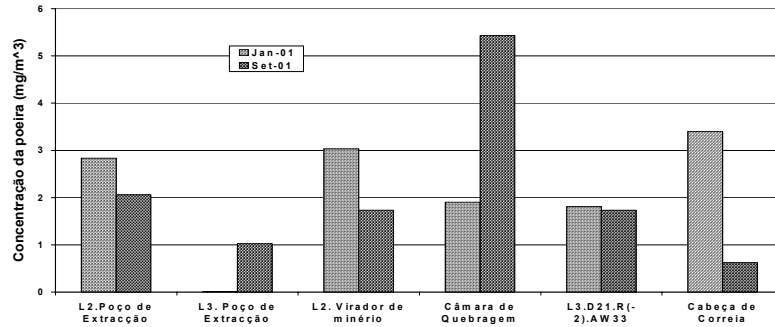


Figura 8.19 – Concentração da poeira no ambiente subterrâneo

A presença de poeiras no ar da atmosfera subterrânea da mina da Panasqueira foi caracterizada nos termos a seguir:

- No L2.Poço de Extração, antes da passagem do ar pela boca do poço, a concentração de poeiras foi de 0.4029 mg/m^3 ($402.40 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) e depois da passagem do ar variava de 2.0162 mg/m^3 ($2016.29 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) a 2.8359 mg/m^3 ($2835.90 \text{ } \mu\text{g/m}^3$);
- No L3.Poço de Extração, antes da passagem do ar pela boca do poço foi de 0.01203 mg/m^3 ($12.03 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) e depois da passagem do ar obteve-se de 1.01214 g/m^3 ($1012.14 \text{ } \mu\text{g/m}^3$);
- No L2.Virador de vagões de minério, a concentração da poeira no ambiente varia de 1.7375 g/m^3 ($1737.50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) e 3.0316 g/m^3 ($3031.60 \text{ } \mu\text{g/m}^3$);
- Na câmara de quebragem ou britagem primária a concentração de poeiras varia entre 1.9028 g/m^3 ($1902.8 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) a 5.4305 g/m^3 ($5430.50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), correspondendo à mais alta concentração registada, durante a operação de britagem a seco;
- Nos desmontes a concentração das partículas sólidas suspensas no ar da atmosfera subterrânea varia de 1.7341 g/m^3 ($1734.10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) a 1.8109 g/m^3 ($1810.90 \text{ } \mu\text{g/m}^3$);
- No local denominado cabeça de correia, a concentração de pó varia de 0.61211 g/m^3 ($612.11 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) a 3.4007 g/m^3 ($3400.70 \text{ } \mu\text{g/m}^3$).

A análise qualitativa das poeiras mostra que estas são compostas por grandes concentrações de sílica livre, Cu, K, Al, por As, Zn, Fe presentes e por W, Ti, Mg Ba, Zr, Ni, Mn, Cr vestigiais.

O gases identificados nas frentes de exploração (desmontes) foram CO, CO₂, NO, NO₂ não estando presente SO₂ nem H₂S. Os resultados das medições da concentração de gases encontram-se no Anexo 8.2, ilustrados mediante a fig. 8.20 e resumidos na Tabela 8.4.

Tabela 8.4 – Margens de variação de gases tóxicos no ambiente subterrâneo

Gases	Desmontes com LHD diesel (ppm)	Desmontes com Jumbo (ppm)	L2. Poço de extração (ppm)	Desmontes com uso de ANFO (ppm)
CO	0 – 500	0	0	10
CO ₂	0 – 3000	0 – 2500	0	1000
NO	0 – 1	0.1 – 0.4	0.3	0.6 – 2.5
NO ₂	0.7 – 12.4	6.7 – 11	0.8	1.4 – 2.7

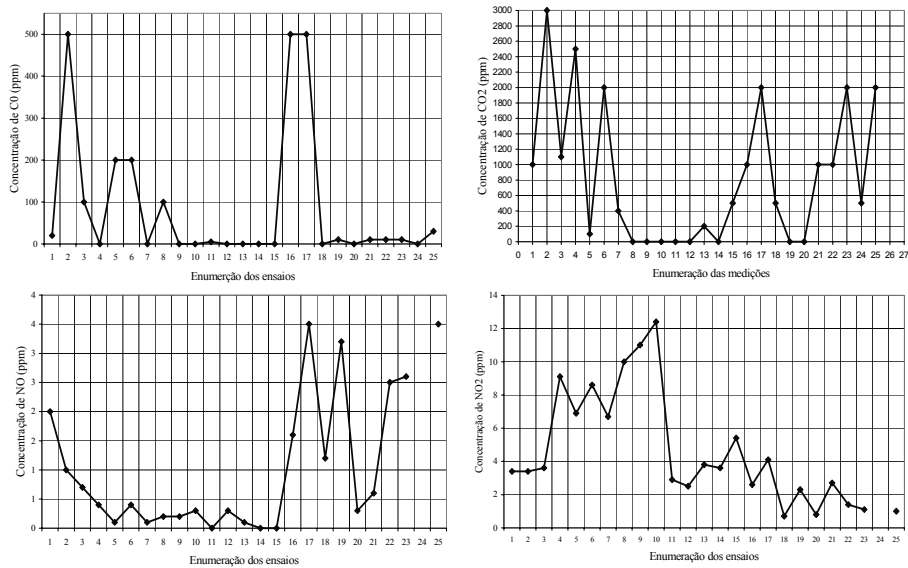


Figura 8.20 – Resultados das medições de gases tóxicos na atmosfera subterrânea

Nos desmontes, o CO oscila entre 0 a 500 ppm, sendo as maiores concentrações nos desmontes onde trabalham os equipamentos LHDs diesel. O CO₂ varia de 0 a 3000 ppm, com altas concentrações também nos desmontes onde operam as LHDs diesel. O NO e o NO₂ estão presentes em concentrações máximas de 12.4 ppm nos desmontes e concentrações menores até 0.1 ppm em outras frentes e, finalmente, o O₂ varia entre 19.2 a 20%.

8.3.2. Identificação do impacte ambiental dinâmico e volumétrico

8.3.2.1. Matriz base para a identificação do impacte ambiental

Para a identificação do impacte ambiental dinâmico e volumétrico aplica-se a matriz base elaborada na Tabela 7.14, para o estudo na mina de Neves Corvo.

O caudal mínimo admissível varia em relação à quantidade de homens e potência de equipamentos com motor diesel que operam no ambiente das frentes de trabalho. Assim, aplicando a equação 3.73 e considerando as condições críticas de operação (Direção de trabalhos subterrâneos 2001) resulta o apresentado na Tabela 8.5.

Para a identificação do impacte ambiental devido a poeiras e gases foi necessário elaborar uma matriz base para os gases caracterizados nesta mina (Tabela 8.6) com base na Tabela 3.25 e Tabela 3.43.

Tabela 8.5 – Condições críticas de operação e caudal mínimo de ar admissível

Local	Homem simultâneo*	Equipamento simultâneo*	Potência (hp)	q (m ³ /s)
Desmontes	30	2 LHD Wagner	364	14.24
L2 e L3 Poço Extracção, rampas	10	1 Tractor AGRIA	44	2.04
Rampa L2/L3 e L3.P(-5)	15	1 DUMPER Wagner	182	7.12
Câm. quebragem, Cabeça de correia e galeria	3	-	-	0.15

Tabela 8.6 – Matriz base para avaliação ambiental subterrâneo devido a gases e poeiras

Poluente	Níveis de impacte ambiental (ppm)		
	Leve	Moderado	Alto
O ₂	18500 ≤ O ₂ < 190000	170000 ≤ O ₂ < 18500	O ₂ < 170000
CO ₂	5000 < CO ₂ ≤ 6000	6000 < CO ₂ ≤ 7000	CO ₂ > 7000
CO	50 < CO ≤ 60	60 < CO ≤ 70	CO > 50
NO _x	3 < NO ₂ ≤ 3.5	3.5 < NO ₂ ≤ 4	NO ₂ > 4
H ₂ S	10 < H ₂ S ≤ 11	11 < H ₂ S ≤ 12	H ₂ S > 12
SO ₂	2 < SO ₂ ≤ 3	3 < SO ₂ ≤ 4	SO ₂ > 4
Poeiras P (mg/m ³)	1 ≤ P < 2	2 ≤ P < 5	P ≥ 5

8.3.2.2. Identificação do impacte ambiental térmico e dinâmico

Com as matrizes específicas elaboradas com base na Norma Portuguesa (Tabela 8.6) e com o caudal mínimo de ar para condições críticas de operação nesta mina (Tabela 8.5) obtêm-se uma matriz de impacte ambiental dinâmico e volumétrico (Tabela 8.7 e fig. 8.21) e a de impacte ambiental devido à poluição com poeiras e gases (Tabela 8.8).

A matriz de impacte ambiental mostra que a área com um impacte ambiental dinâmico e volumétrico *moderado a alto* se verifica no nível 3, nomeadamente nas rampas D15, D19 e L2/L3 e na galeria P(-5). Nos desmontes existe um impacte ambiental dinâmico e volumétrico *alto*.

A matriz de impacte ambiental ocasionado por gases e poeiras (Tabela 3.45) conduz a deduzir que nos desmontes há impacte ambiental *moderado a alto* para o caso dos gases e *leve* para as poeiras. No Poço de Extracção (nível 2), no virador de minério (nível 2), na câmara de quebragem e na cabeça de correia, o impacte ambiental devido às poeiras é *moderado a alto*.

A identificação localizada dos impactes ambientais, constitui uma ferramenta fundamental na procura de medidas correctivas para a atenuação ou mitigação destes riscos ambientais para a saúde dos trabalhadores.

Tabela 8.7 – Matriz de impacte ambiental dinâmico e volumétrico no ambiente subterrâneo da minas da Panasqueira (Dezembro 2000)

Área	Ramos	Ambiente subterrâneo	Tipo e níveis de impacte		
			Térm.	Dinâm.	Volum.
Nível 1		Não existe nenhum impacte			
Nível 2	42-23	Galeria D11		⊗	⊗
	23-45	Galeria P4 virador minério		∇	
	49-54	Galeria P1		∇	
	49-50	Galeria D19		⊗	◆
	57-58A	Galeria D23		◆	
	64-63	Rampa D13		◆	⊗
Nível 3	82-83	Galeria D19		◆	◆
	81-87	Galeria P(-5)		◆	◆
	97-89	Galeria P(-5)			◆
	97-95	Galeria P(-5)			⊗
	81-80	Galeria D17		⊗	
	78-79A	Galeria D15		◆	◆
	50-51	Rampa D19		◆	◆
	101-102	Rampa D19		◆	◆
	75-74	Rampa D15		◆	◆
	76-75	Rampa D15		⊗	⊗
	77-76	Rampa D15		⊗	⊗
	35 ^A -90	Rampa L2/L3		◆	◆
	92-90	Rampa L2/L3			◆
	Vários	Desmontes (Figura 2.33)		◆	◆

Legenda: ∇ Leve, ⊗ Moderado, ◆ Alto

8.3.3. Medida correctivas para os impactes ambientais identificados

Aplicando a equação 3.54, para Q_t de 0.57 mg/m^3 , $C_p = 1.8109 \text{ mg/m}^3$ (medido), $VLAp = 1 \text{ mg/m}^3$ e $P = 2222.22 \text{ t}$ (informação da mina), a quantidade de ar limpo requerido para obter o nível admissível de concentração de poeiras corresponde a um caudal de ar de $11.67 \text{ m}^3/\text{s}$, para o total dos desmontes. Este caudal é menor do que o mínimo admissível, calculado considerando a Norma Portuguesa que é de $14.24 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabela 3.42), portanto, a medida correctiva deverá garantir este caudal mínimo.

Na mina da Panasqueira os rebentamentos são feitos no último turno de cada dia de trabalho (1 a 2 horas), com uma margem de aproximadamente a 4 horas de antecedência ao início do turno seguinte (7 horas), pelo que o risco produzido pelas poeiras e gases por uso de explosivo não é significativo, porque o tempo é suficientemente grande para a sua diluição.

Tabela 8.8 – Matriz de impacto ambiental devido a poeiras e gases (Janeiro 2001)

Número de ensaio	Ambiente subterrâneo	Tipo de impacto				
		Poeiras	CO	CO ₂	NO	NO ₂
1	L3.D21.R-2.AW33(N9)*	∇	∇	◆	⊗	⊗
2	L3.D21.R-2.AW33(E72)	∇	◆	⊗		⊗
3	L3.D21.R-2.AW33(W76)	∇	◆	◆	∇	⊗
4	L3.D19.R1.AW30(N420)			∇		◆
5	L3.D19.R1.AW30(E421)		◆			◆
6	L3.D19.R1.AW32(N59)			◆		◆
7	L3.D19.R1.AW32(E31)					◆
8	L3.D19.R-3.AW30(N280)		◆			◆
9	L3.D19.R-3.AW30(428)					◆
10	L3.D17.R1.AW33(WN6)					
11	L3.D19.R0.AW32(I4N)					∇
12	L3.D19.R5.AW30(E423)					∇
13	L3.D19.R1.AW32(59)					⊗
14	L3.D21.R2.AW33(S72)					⊗
15	L3.D19.R2.AW32(I4S)		◆		⊗	◆
16	L3.D21.R-1.AW33(30)				◆	∇
17	L3.D21.R-1.AW33(E10)		◆	∇		⊗
18	L3.D21.R-1.AW33(43)				◆	
19	L3.D21.R2.AW33.Ac.r.D23(23)					∇
20	L2.Poço Extracção	⊗				
21	L3.D21.R-2.AW33.Ac.r.D23(20)				∇	∇
22	L3.D21.R-1.AW33(S23)				⊗	
23	L3.D21.R-1.AW33(78)			∇	◆	
24	L2.P4.D13.Raquete				◆	
25	L3.D21.R-1.AW33		∇	∇		
	L3.Poço de Extracção	∇				
	L2. Virador de minério	⊗				
	Câmara de quebração	◆				
	Cabeça de correia	◆				

* Os números em parêntese indicam o ponto topográfico (S = Sul, N = Norte, E = Este, W = Oeste)

Legenda: ∇ Leve, ⊗ Moderado, ◆ Alto

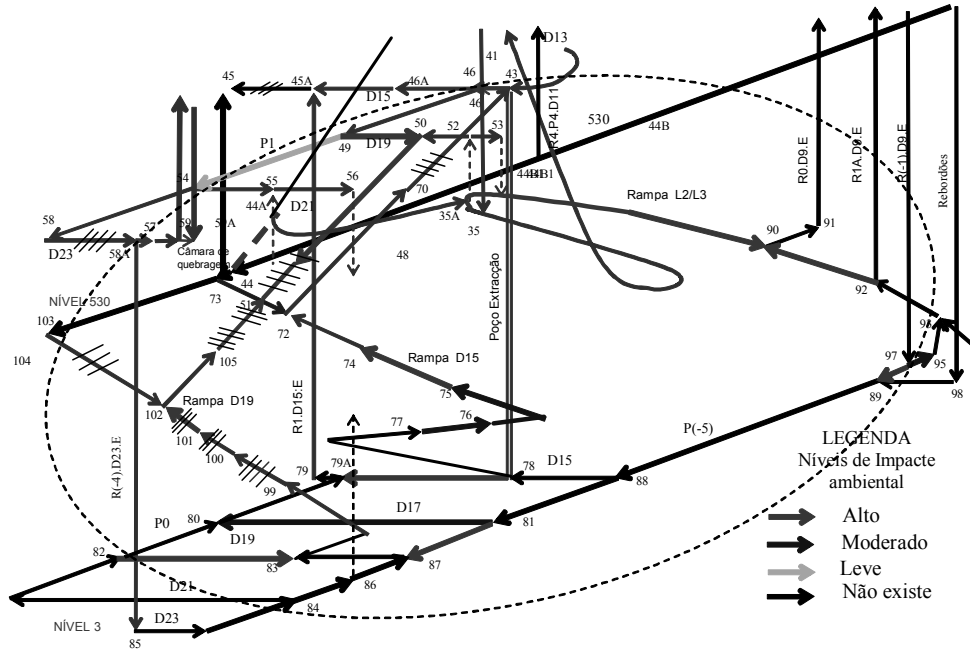


Figura 8.21 – Mapa do impacto ambiental na atmosfera subterrânea (Dezembro 2000)

8.3.3.1. Medidas correctivas para o impacto ambiental nos desmontes

O método de exploração de câmaras e pilares e as condições operacionais da mina da Panasqueira exigem o uso do sistema de ventilação com ventiladores auxiliares e manga, para a obtenção dum caudal mínimo de ar requerido em cada frente de trabalho (Tabela 8.9).

Para a obtenção destes caudais mínimos aplica-se a equação (3.64) denominada de comprimento máximo (L_{max}).

Para o caso dos caudais mínimos nos desmontes (Tabela 8.11), modelou-se para ventiladores auxiliares Joy Auxivane Mine Fan (Mine Ventilation Service, Inc), com curvas características de booster fan (Anexo 7.7), tendo sido usado, para as frentes com operação de perfuração (jumbo) a curva 5 e para frentes em operação de remoção (LHD diesel) a curva 2.

Para tais condições e para os seguintes parâmetros: $\lambda = 0.0260$, $Q = 6.608 \text{ m}^3/\text{s}$ (LHD diesel), $Q = 2.832 \text{ m}^3/\text{s}$ (jumbo), $f = 0.0278$ (Tabela 3.46), $P = 14.4 \text{ m}$, $S = 12 \text{ m}^2$ (medição prática), $L_e = 9.144 \text{ m}$ (Tabela 3.47), as equações de comprimento máximo da manga $L_{m\acute{a}x}$ (m), em função do seu diâmetro D (m) são as apresentadas na Tabela 8.10, cuja representação gráfica é ilustrada mediante a fig. 8.22.

Tabela 8.9 – Caudal mínimo de medida correctiva do impacte ambiental dinâmico e volumétrico nos desmontes em diferentes condições

Homens	Máquinas diesel	Caudal mínimo permissível (m ³ /s)	Velocidade para o caudal mínimo (m/s)	Caudal mínimo para velocidade mínima de 0.2 m/s (m ³ /s)
3	1 Jumbo	0.15	0.013	2.40
3	1 LHD de 182 hp	6.52	0.543	6.52
6	Nenhuma	0.30	0.025	2.40

Tabela 8.10 - Equações de comprimento máximo do acesso/desmonte

Ventilador	H _{máx} (curva)	Equação de comprimento máximo
Joy(6.6 m ³ /s) Curva 5	2240	$L_{máx} = 51.29676964 / [(0.02548/D^5) + 0.0002317]$
Joy(2.8 m ³ /s) Curva 2	1993	$L_{máx} = 254.209184 / [(0.02548/D^5) + 0.0000541]$

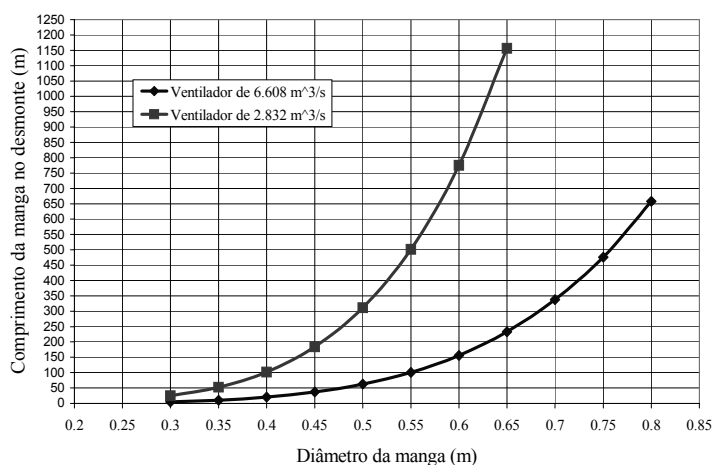


Figura 8.22 – Medida correctiva do risco ambiental na atmosfera subterrânea dos desmontes

Aplicando a equação 3.76 a potência dos ventiladores auxiliares, para as frentes onde há operação de remoção com LHD diesel, é de 21 kW (6.6 m³/s) e para as frentes de perfuração com jumbo e outras frentes de trabalho, é de 8 kW (2.8 m³/s). A curva da medida correctiva permite adequar-se à constante variação das operações de exploração nos desmontes.

8.3.3.2. Medidas correctivas para o impacte ambiental na rede primária de ar

Na procura da medida correctiva para o impacte ambiental dinâmico e volumétrico identificado nas redes primárias de ar utiliza-se como ferramenta principal o programa VnetPC200 da Ventilation Service, Inc. dos E.U.A.

Os critérios tomados para a simulação foram: simplificar o circuito de ar mediante fecho de frentes antigas e não úteis (fig. 8.7); considerar portas e cortinas de ventilação e alternativas possíveis de localização dos ventiladores (incluído o sistema

existente de exaustão na chaminé do Casal), para obter um caudal de ar superior ao mínimo estimado nos desmontes (rampa D19) e eliminando ou reduzindo a níveis admissíveis o impacte ambiental identificado na rede primária.

Os parâmetros de entrada (*input parameters*) para o modelo de ventilação simplificado, incluem entre 93 a 101 ramos (locais) e 71 a 76 nós para as 6 alternativas simuladas. Para cada trecho do ambiente subterrâneo, foi necessário a secção, o perímetro, o comprimento, o comprimento equivalente e o factor de fricção. Visto que não foi possível obter as curvas características dos ventiladores existentes na mina, procedeu-se à medição prática do caudal de ar dos ventiladores cuja potência é de 80 hp (59.68 kW), resultando um caudal médio de 56.8 m³/s, valor considerado como *input* do ventilador (*fixed quantity*). Finalmente, o parâmetro económico utilizado foi um custo de energia eléctrica de 0.065 €/kW.h (Direcção de trabalhos subterrâneos das minas da Panasqueira).

Tabela 8.11 – Actividades e custos para a simplificação do circuito de ar

Alternativa	Fecho de locais	Cortina de ventilação	Localização dos ventiladores	Custo estimado (€)
1	31	2	Ch.Casal Ch. D23W*	5487
2	35	2	Ch. D23W* Ch. D23E*	5986
3	35	2	Ch. D23W* Ch. D23E*	5861
4	35	1	Ch. D23W* Ch. D23E*	5736
5	34	1	Ch. D23W* Ch. D23E*	31649**
6	35	1	Ch. D23W* Ch. D23E*	5736

* Instalados na galeria L2.D23 próximo às chaminés.

** Inclui construção e reabilitação de 100 m de galeria em L530.Gal.L2.P2.xS

Na Tabela 3.48 apresentam-se os trabalhos a realizar e os custos de simplificação dos circuitos de ventilação que permitem controlar o sistema e realizar a modelação.

Das 6 melhores alternativas simuladas (Tabela 8.12), a que ofereceu o melhor resultado é a correspondente à instalação de 1 ventilador na chaminé D23E e outro na D23W (fig. 8.23) obtendo-se um caudal total de 113.6 m³/s para um custo de operação de 64677.24 € por ano.

As 6 alternativas permitem obter caudal superior (de 43.81 m³/s a 63.06 m³/s) ao caudal mínimo estimado (14.24 m³/s). A 1 parece ser a melhor, mas tem um custo elevado de operação e precisa de duas portas de ventilação e duas cortinas que, operacionalmente, limita a flexibilidade na mina. A 5 alternativa representa um custo elevado de simplificação da rede, não obtém um resultado satisfatório. As alternativas 2 e 3 precisam entre uma a duas cortinas.

As melhores alternativas são a 4 e a 6, que têm igual custo de simplificação, necessitam de uma quantidade igual de fechos de aberturas (35), 1 cortina de ventilação, nenhuma porta de ventilação e obtêm praticamente o mesmo caudal nos desmontes, para custos de operação equivalentes.

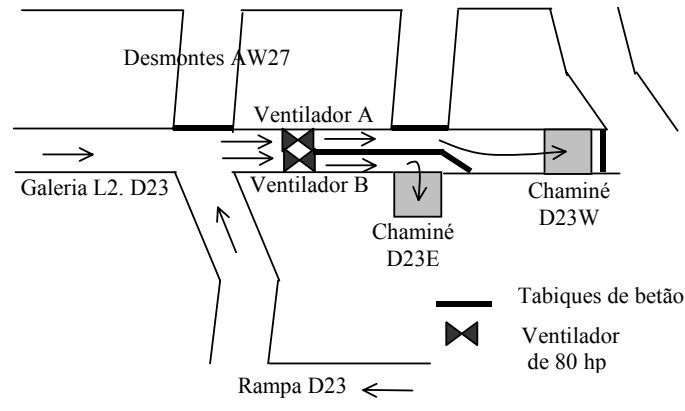


Figura 8.23 – Localização dos ventiladores de 80 hp nas chaminés D23E e D23W

Tabela 8.12 – Resumo dos resultados da simulação sobre a operação dos ventiladores

Alternativa	Ventiladores	Pressão (Pa)	Caudal Total (m ³ /s)	Custo Operação (€/ano)
1	A	912.20	113.60	453.84
	B	3017.20		1501.12
2,3,4,5,6	A	29.80	113.60	14.82
	B	23.70		11.79

Ao analisar os detalhes destas duas alternativas, nota-se que a alternativa 5 considera o acesso da rampa de Rebordões (superfície) ao Poço Santa Bárbara fechado, permitindo aumentar o caudal e a velocidade pela rampa de Rebordões, o que pode gerar certo desconforto na passagem do pessoal; pelo que o mais recomendável é a alternativa 6, que considera o referido acesso aberto, recomendando-se colocar uma porta de grelha na entrada da rampa de Rebordões em vez da porta totalmente fechada em uso; portanto, a alternativa 6 é a mais viável (rede usada na modelação com VnetPC2000 ilustrada na fig. 8.24).

Para a simplificação e controle do circuito primário de ar precisa-se de realizar actividades de fecho (Tabela 8.13) de locais antigos ou daquelas que não são úteis na situação actual.

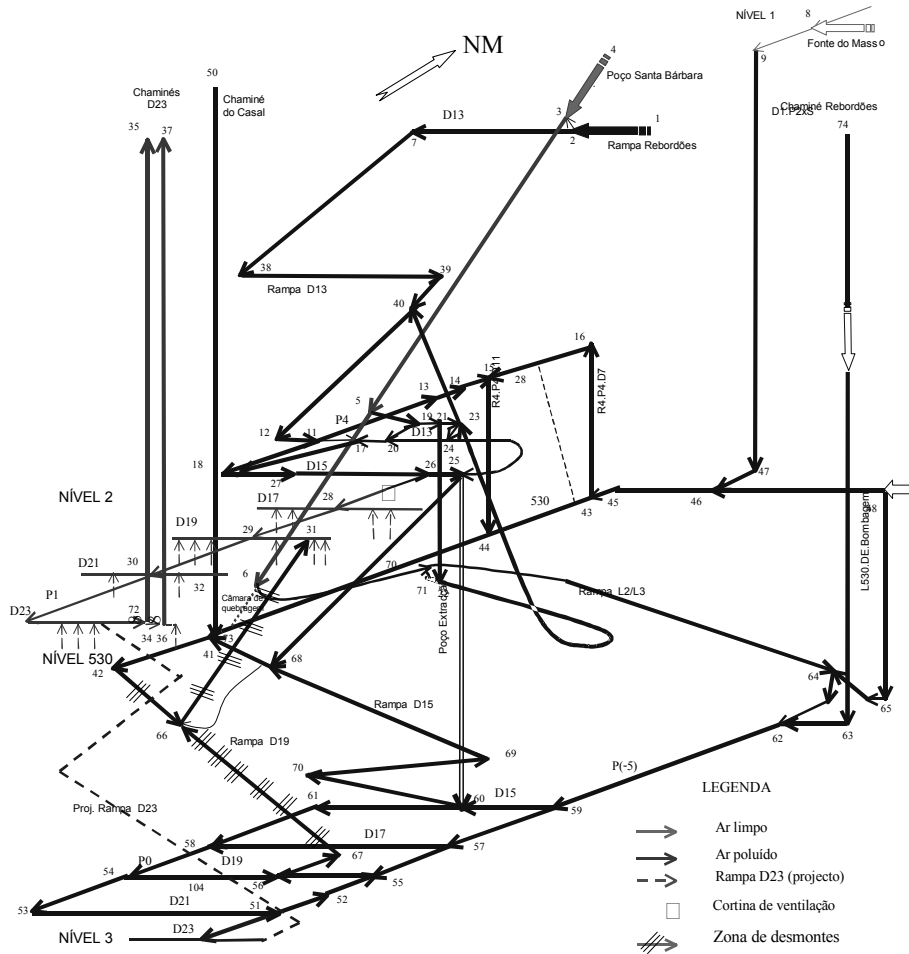


Figura 8.24 – Rede de ar simplificada para simulação com programa VnetPC2000

É importante instalar uma *cortina de ventilação* na galeria P1, entre D15 e D17, para definir zonas de circulação de ar limpo e ar poluído. A cortina permite também definir locais colectores de ar poluído que são: D17, D19, D23 (com eixo no P1) e P1 (entre D17 e D23).

Como se poderá ver, a medida correctiva consiste numa mudança total comparativamente ao sistema caracterizado inicialmente em Dezembro de 2000.

Os resultados apresentados na Tabela 8.14, Tabela 8.15, fig. 8.25 e fig. 8.26 evidenciam que a alternativa 6 resolve o problema do risco ambiental identificado na rede primária de ar da atmosfera subterrânea da mina da Panasqueira, por obter velocidades e caudais maiores que o mínimo admissível.

Tabela 8.13 – Fecho de locais para controlar o sistema de ventilação primária

Nível	Local a serem fechados
1	L1.Galeria paralela a P4, entre D13 e D15 L1.D13.W entre P4 e P3, antes do acesso à rampa D13 L1.Chaminé R4.D11
2	L2.P4, entre D15 e D17 deixando livre zona da chaminé do casal L2.D13W entre P5 e P5A, deixando livre acesso à rampa D13 L2.D11W entre P4 e P4A L2.D11E entre P4 e P5A L2.P4, entre D5 e D7 deixando livre R4.D7 L2.D9.E, entre as chaminés R(-1).D9.E e Rebordões L2.P1, deixando livre D23 L2.Todas as aberturas de desmontes na D23 até as chaminés D23E e D23W. L2.Todas as aberturas no P1, entre D15 e D23, excepto galerias D17, D19 e D21. L2.Chaminés R(-4).D23.E, R1.D15.E, R0.D9.E, R1A.D9.E e R(-1).D9.E L2.Chaminé R4.D7 (fechar pelo inclinado).
530	L530.P4, deixando livre o acesso à rampa D19 L530 Acesso à câmara de quebração (Poço Santa bárbara) L530.P4, intersecção de P4 e galeria Salgueira fechando ao norte

Com custo de 0.065 €/kW.h, a alternativa 6 tem um custo menor em 35.86% que as condições iniciais caracterizadas em Dezembro de 2000 (Tabela 8.16), com uma poupança de 36616.80 €/ano, sendo portanto o investimento de 3736.00 € (fecho de aberturas) possível de recuperar em apenas 1.5 meses, sendo viável e favorável técnica e economicamente.

Em conclusão, o risco ambiental na atmosfera subterrânea identificada em Dezembro de 2000, é possível de ser atenuada a níveis permissíveis pela legislação portuguesa, com a mudança do sistema de ventilação, ou seja, passando os dois ventiladores de 80 hp da chaminé do Casal às chaminés D23E e D23W e com alguns trabalhos de fecho de aberturas e colocação duma cortina do ar na galeria L2.P1.

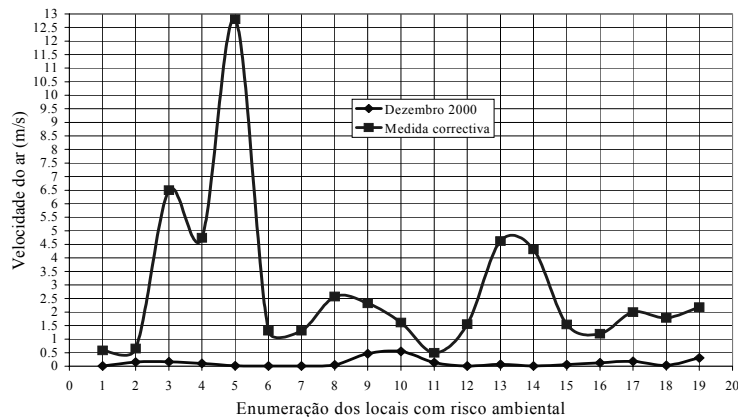


Figura 8.25 – Comparação da velocidade de ar em locais com risco ambiental em relação à medida correctiva proposta

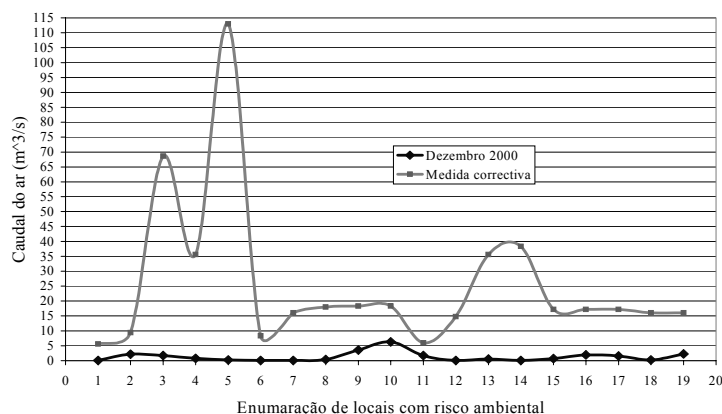


Figura 8.26 – Comparação do caudal de ar em locais com risco ambiental em relação à medida correctiva proposta

Tabela 8.14 – Comparação entre o risco ambiental identificado e medida correctiva

Área	Ramos		Ambiente subterrâneo	N.º	Registos em Dezem 2000		VnetPC2000 Alternativa 6	
	Dezembro 2000	VnetPC 2000			V (m/s)	Q (m³/s)	V (m/s)	Q (m³/s)
NÍVEL 2	42-23	17-11	Galeria D11	1	0.01	0.10	0.58	5.61
	23-45	11-18	Gal.P4 virador minério	2	0.15	2.20	0.65	9.46
	49-54	29-30	Galeria P1	3	0.16	1.70	6.50	68.68
	49-50	29-31*	Galeria D19	4	0.10	0.80	4.74	35.57
	57-58A	33-72*	Galeria D23	5	0.02	0.20	12.80	113.00
	64-63	39-40	Rampa D13	6	0.01	0.10	1.31	8.37
NÍVEL 3	82-83	54-56	Galeria D19	7	0.01	0.10	1.31	16.07
	81-87	57-55	Galeria P(-5)	8	0.05	0.40	2.57	17.96
	97-89	64-62	Galeria P(-5)	9	0.46	3.60	2.32	18.32
	97-95	64-62	Galeria P(-5)	10	0.55	6.30	1.61	18.32
	81-80	57-58	Galeria D17	11	0.14	1.70	0.50	6.01
	78-79A	60-61	Galeria D15	12	0.01	0.10	1.55	14.84
	50-51	66-31	Rampa D19	13	0.07	0.54	4.62	35.57
	101-102	56-67	Rampa D19	14	0.01	0.10	4.31	38.32
	75-74	69-68	Rampa D15	15	0.06	0.67	1.54	17.23
	76-75	70-69	Rampa D15	16	0.13	1.93	1.20	17.23
	77-76	70-69	Rampa D15	17	0.18	1.57	2.00	17.23
	35 ^A -90	71-64	Rampa L2/L3	19	0.03	0.25	1.78	16.03
	92-90	71-64	Rampa L2/L3	20	0.31	2.28	2.18	16.03
	Vários	Varios	Desmontes com LHD	21	<0.20	<2.0	>0.54	6.52
	Varios	Varios	Desmontes com jumbo	22	<0.20	<2.0	>0.20	2.40
			Desmontes totais				13.90	43.81

* Com a mudança do sistema passa a ser colectores do ar poluído

Tabela 8.15 – Comparação dos caudais (m³/s) de entrada e saída do ar entre o medido em Dezembro de 2000 e a alternativa 6 simulada com VnetPC2000

Entrada			Saída		
Local	Dezembro 2000	VnetPC 2000	Local	Dezembro 2000	VnetPC 2000
Poço Santa Bárbara	15.70	64.26	Cham. do Casal	56.80	-
Rampa de Rebordões	23.30	13.57	Chaminé D23E	15.70	56.80
L0/L2 (P4)	2.00	-	Chaminé D23W		56.80
Chaminé Rebordões	20.37	13.81			
Salgueira	5.76	2.56			
Chaminé D23.W	6.70	-			
Chaminé do Casal		1.39			
L1.P2.Sul F.Masso		7.01			
Total	73.83	113.60	Total	72.50	113.60

Tabela 8.16 – Custo de operação unitária comparativa entre a Alternativa 2 e as condições caracterizadas em Julho de 2000

Condição	Potência instalada (kW)	Caudal total (m ³ /s)	Custo de operação (m ³ de ar/Euro)
Dezembro 2000	119.36	73.83	34258.04
Alternativa 6	119.36	113.60	52711.89

8.3.4. Monitorização e controle

A medida correctiva (alternativa 6) proposta foi aplicada no mês de Fevereiro e Março de 2001, significando uma forte mudança do sistema existente.

Depois da aplicação da medida correctiva foi realizada uma campanha de monitorização em Maio, Julho e Novembro de 2001, a última integrada à rampa D23 (outra ligação entre o nível 3 e 2). Constatou-se que o resultado da aplicação do sistema proposto deu resultados similares ao esperado e com alguns reajustes conseguiu-se melhorar a qualidade do ambiente subterrâneo (fig. 8.27).

Em Dezembro de 2000 foi identificado que o fluxo de ar limpo nos desmontes (áreas de exploração) era apenas 13.9 m³/s, o que ocasionava um alto risco. Depois da aplicação da medida correctiva, na primeira monitorização (Maio 2001) registou-se um caudal de 39 m³/s, em Julho um caudal de 45.1 m³/s e na última monitorização (Novembro 2001) de 45 m³/s; que em todo caso é superior ao mínimo estimado (14.24 m³/s). A fig. 8.27 mostra a evolução referida, com tendência à estabilização.

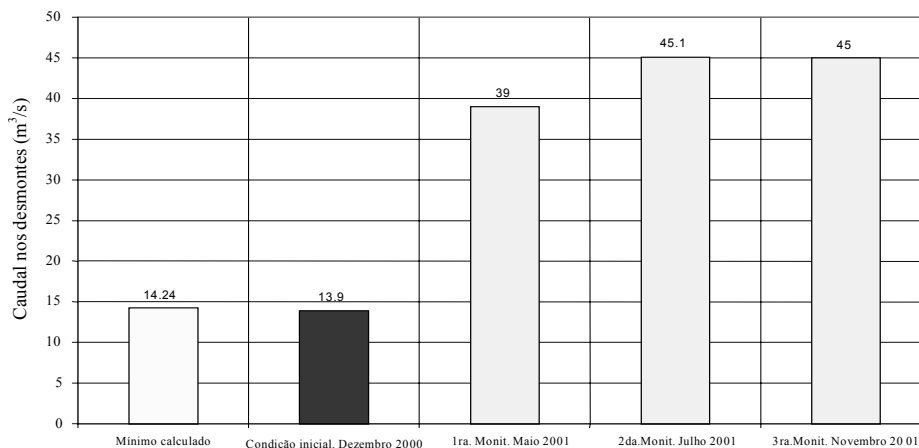


Figura 8.27 – Evolução da entrada de ar limpo nos desmontes depois da aplicação da medida correctiva (alternativa 6)

Uma vez resolvido o impacte ambiental negativo na rede primária, programou-se uma minuciosa caracterização do ar nos desmontes para o mês de Setembro de 2001, cujo resultado (fig. 8.11) demonstrou a existência duma má distribuição do ar, não obstante que a medida correctiva permitia alimentar um caudal superior ao mínimo admissível, pelo que desenvolveu-se a medida correctiva exposta no item 8.3.3.1.

8.4. Avaliação do Risco Ambiental Acústico no Ambiente Subterrâneo

8.4.1. Caracterização da situação acústica

8.4.1.1. Instrumento utilizado e metodologia para a medição do ruído

O instrumento usado foi o sonómetro Integrador de Precisão Bruel & Kjaer modelo 2236 da Secção de Exploração de Minas do Instituto Superior Técnico devidamente calibrado, que mede 6 parâmetros sonoros (Tabela 8.17).

Os comandos do aparelho permitem armazenar dados automaticamente, calibrar o pico, data e hora, início automático, *reset* na mudança de escala, contraste, tempo de exposição, interface e formatos de saída.

O sonómetro permite também, imprimir, armazenar, editar e apagar dados, possuindo também três tipos de memória para o seu armazenamento, para depois ser transferido para um computador, mediante a utilização dum programa.

Tabela 8.17 – Parâmetros de medição do sonómetro Bruel & Kjaer modelo 2236

Parâmetro	Significado	Parâmetro	Significado
MaxL	SPL máximo desde o último reset	L1	Nível Sonoro Contínuo Equivalente (IEC 804 Impulsiva)
MinL	SPL mínimo desde o último reset	SEL	Nível de Exposição Sonora (IEC 804)
MaxP	Nível de Pico máximo desde o último reset	IEL	Nível de Exposição sonora (impulsiva)
Peak	Nível de pico máximo no intervalo de 1 s	LEPd	Nível sonoro equivalente
SPL	Nível RMS máximo no intervalo de 1s (IEC 651)	L95	Nível de ruído (RMS) excedido em 95% do tempo de medição
Leq	Nível sonoro contínuo equivalente (IEC 804)	OVL	Instrumento em sobrecarga (% do tempo de medição)

Como o ruído no ambiente subterrâneo está relacionado com as actividades operacionais (fig. 3.67), que são instalações fixas e móveis (Tabela 8.18), em cada estação realizaram-se medições aplicando os padrões de referência indicados na fig. 3.74 (segunda parte).

O tempo de medição adoptado foi até à estabilização do registo dos valores do nível sonoro contínuo equivalente Leq, visto que a característica da maioria do tipo de ruído é contínuo.

Tabela 8.18 – Local e fontes de produção de ruído (equipamentos)

Fonte de ruído	Tipo de actividade	Local	Equipamento
Fixa-Móvel	Extracção	L2.D15.Raquete L2. Virador minério L3.D15.Galerias base	Guincho de extracção Jaula com vagão Vagões e locomotivas
Fixa	Ventilação	L2.Galeria D23 L2.Ch.R-4.D23 L3.D19.R-3.AW34.Pto.60	2 Ventiladores de 80 hp 1 Ventilador de 80 hp 1 Ventilador de 7.5 kW
Fixa-Móvel	Britagem Primário	Câmara de Quebragem	Britador primário Sistema de tela transporte
Fixa	Perfuração	L3.D21.R-2.AW30.Pto.383 L3.D21.R-2.AW30.Pto.382	Jumbo Tamrock H107 (no. 2) Jumbo Tamrock H107 (no. 2)
Móvel	Limpeza	L3.D21.R-2.AW30.Pto.353 L3.D19.R-3.AW34.Pto.80 L3.D19.R-3.AW34.Pto.84	LHD Wager EST-2D (no. 2) LHD Wagner ST-3.5 (no. 15) LHD Wagner ST-3.5 (no. 15)
Móvel	Transporte	L3.Gal.P-5, rampa L2/L3 Rampas Rebordões, L2/L3	Dumper Wagner MT-413 Tractor AGRIA (no.11)
Fixa-Móvel	Transporte	Casa Cabeça de Correia	Correia transportadora, Torva de transferência

8.4.1.2. Medição e caracterização do ruído

a) **Poço de extracção:** para a caracterização do ruído no poço de extracção, as medições foram realizadas quer no nível 2 (fig. 8.28 esquerda) quer no nível 3 (fig. 8.28 direita).

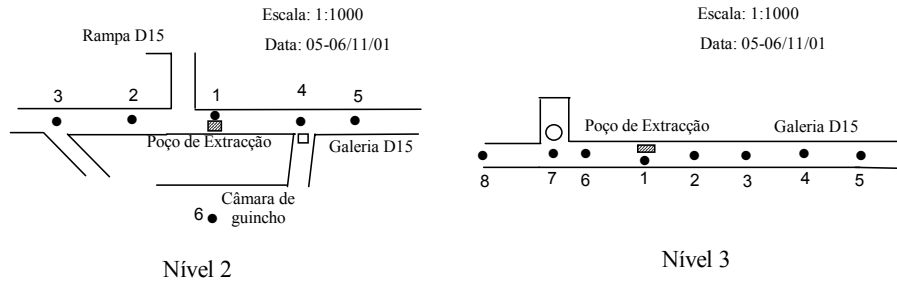


Figura 8.28 – Estações de medição do ruído no Poço de Extracção

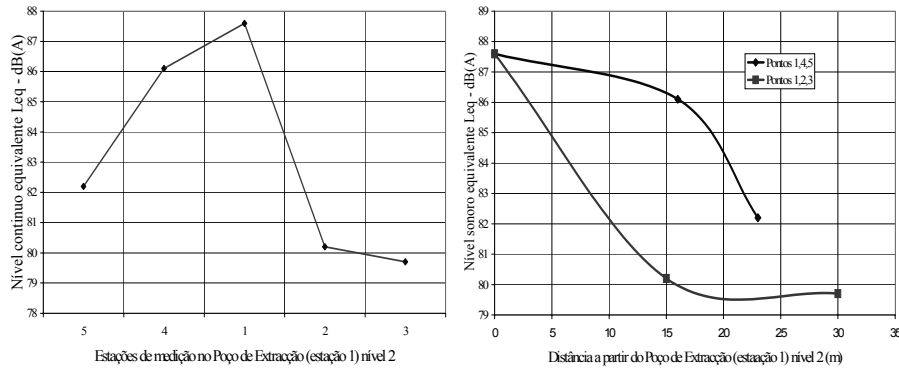
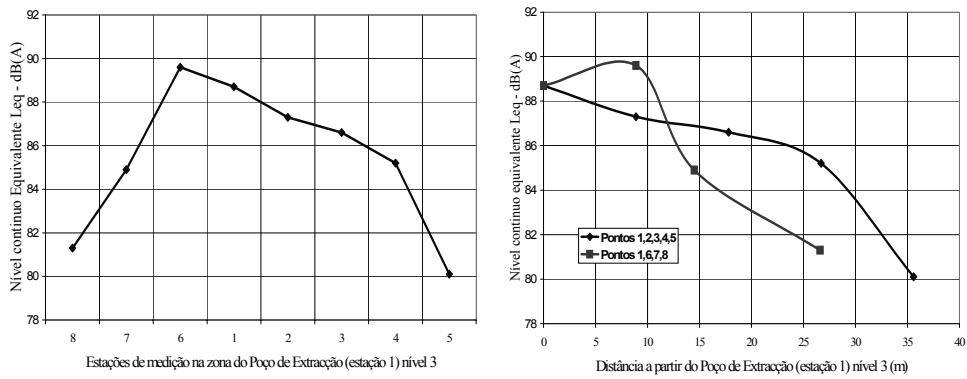


Figura 8.29 – Variação do Leq dB(a) no Poço de Extracção nível 2

No nível 2, a estação 1 localiza-se no poço de extracção, as estações 1 a 5 encontram-se na zona do deslocamento da composição com vagões vazios e as estações 1 ao 3 na zona de composição de vagões com carga de minério. Na figura 8.29 ilustra-se as suas características.

No nível 2, o nível sonoro contínuo equivalente (Leq) no ponto 1 (a 1 m do limite do Poço) é máximo, na zona da composição com vagões vazios (operação de entrada de vagões à jaula) é maior e com persistência a maior distância do que na zona da composição com carga (saída de vagões da jaula e colocação na composição).

No nível 3 a estação 1, também corresponde ao poço, sendo de 1 a 5 na zona da composição de vagões com carga e de 1 a 8 da zona de vagões vazios. No Anexo 8.5 apresentam-se os registos das medições e na fig. 8.30 ilustra-se as suas características.



O nível sonoro contínuo equivalente (Leq) na estação 6 é máximo. Na zona da composição de vagões com carga (operação de entrada de vagões à jaula) é maior mas com persistência a curta distância do que na zona de composição vazia (saída de vagões da jaula e colocação na composição).

Comparativamente no nível 3 registou-se um Leq maior e com persistência a maior distância do que no nível 2.

b) Ventiladores: as medições realizaram-se em ambiente com influência sonora de dois ventiladores principais (80 hp cada um) instalados na galeria D23 do nível 2 para exaustão do ar poluído pelas chaminés D23E e D23W. Próximo destes ventiladores existe um outro (80 hp) instalado na chaminé R-4.D23; na fig. 8.31 observam-se as estações de medição e na fig. 8.33 (à esquerda) as características.

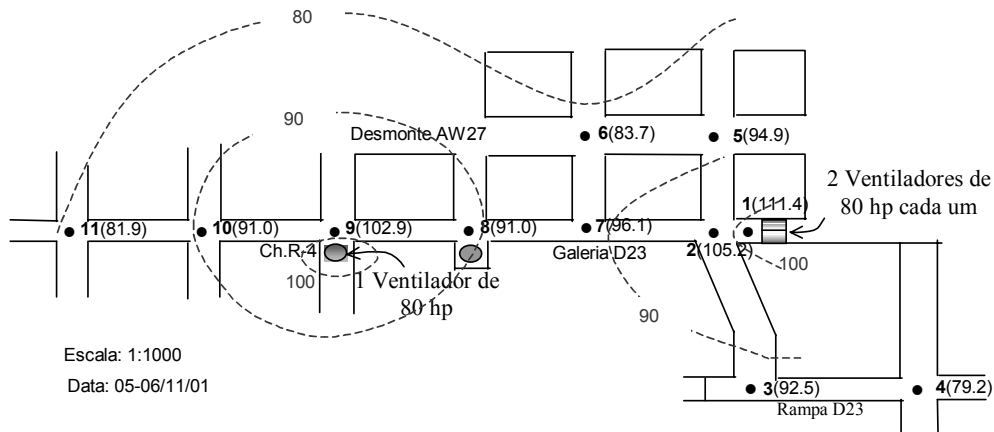


Figura 8.31 – Estações de medição e isovalores do ruído (dB) na zona dos do ventiladores de 80 hp às chaminés de exaustão D23 e chaminé R-4.D23

As medições do ruído gerado pelo ventiladores auxiliares de 7.5 KW realizaram-se no desmante L3.D19.R-3.AW34.Pto.60 em 7 estações (fig. 8.32), cujos registos estão no Anexo 8.5 e as suas características ilustram-se mediante a fig. 8.33 (esquerda).

As medições mostram que, na rampa D23, existe um rápido decréscimo influenciado pelo maciço rochoso (pilar). No desmante AW27 é ligeiramente maior mas também com uma rápida diminuição e na galeria L2.D23, influenciado pelo outro ventilador instalado na chaminé R-4.D23 (Estação 9), ocorre uma persistência a longa distância. Observa-se que os dois ventiladores de 80 hp geram um máximo de 111 dB e só um ventilador próximo a 103 dB.

Na câmara onde estava instalado o ventilador auxiliar de 7.5 KW com manga de ventilação, o nível sonoro é maior e com persistência a maior distância em relação ao que acontece nas câmaras laterais.

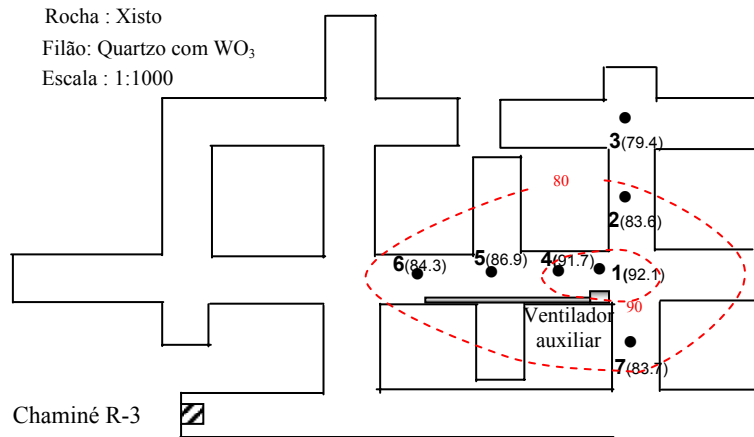


Figura 8.32 – Estações de medição e isovalores do ruído (dB) produzido por um ventilador auxiliar de 7.5 KW no desmante L3.D19.R-3.AW34.Pto.60

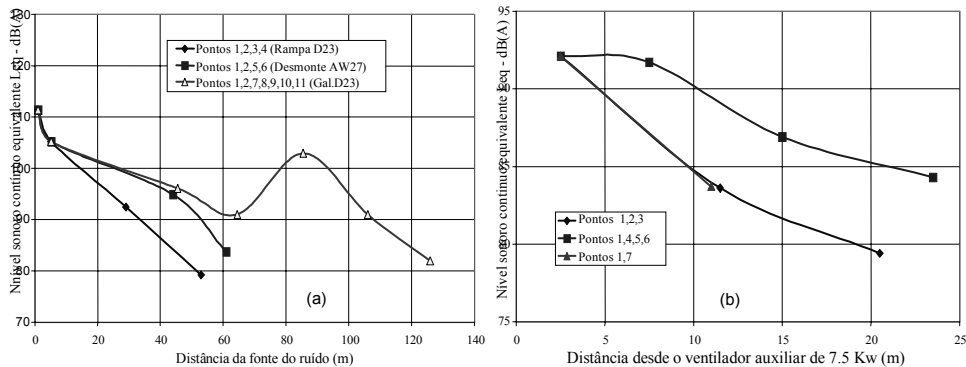


Figura 8.33 – Variação do ruído (L_{eq} , dBA) produzido pelos ventiladores de 80 hp (a) e o ventilador auxiliar de 7.5 kW (b)

c) **Britagem primário:** para a caracterização do ruído gerado pela britagem primário determinou-se a localização das estações de medição no piso do operador e painel de controle, no piso do britador e no piso da câmara de quebragem e no poço de Santa Bárbara, tal como são mostrados na fig. 8.34, fig. 8.35 e fig. 8.36. Nas Figuras 8.37, e 8.38 as suas tendências.

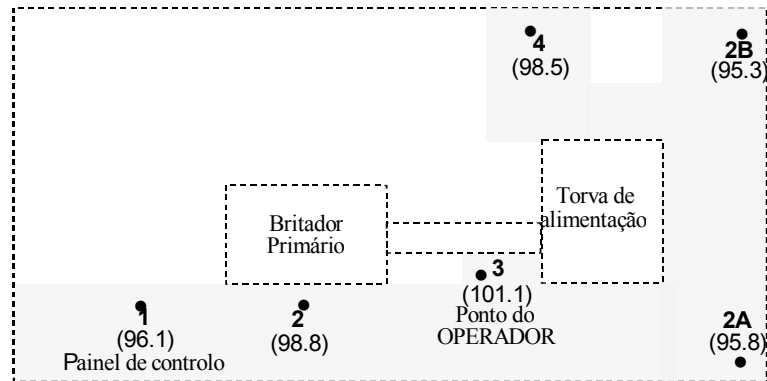


Figura 8.34 – Estações de medição do ruído (dB) no 2º piso do britador primário (operador e painel de controle)

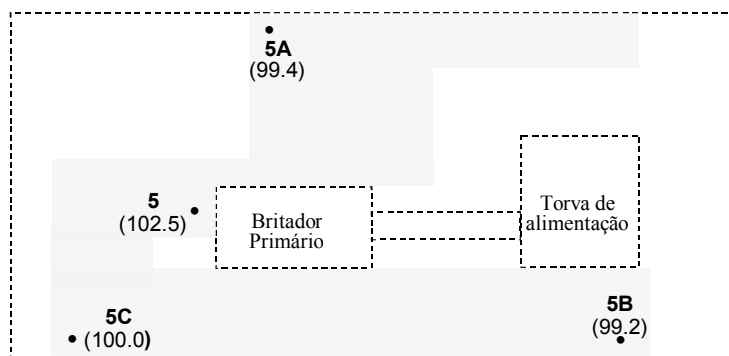


Figura 8.35 – Estações de medição do ruído (dB) no 1º piso do britador primário

No piso do operador e painel de controle o nível sonoro é muito mais alto nomeadamente na zona do operador e do painel de controle onde também frequenta o pessoal. No piso do britador primário e todas as zonas frequentadas pelo pessoal mostram valores altos; finalmente é o piso do britador primário que apresenta o maior nível em comparação com o piso superior. Também, existe influência do ruído produzido pelo britador primário no poço de Santa Bárbara até uma distância considerável.

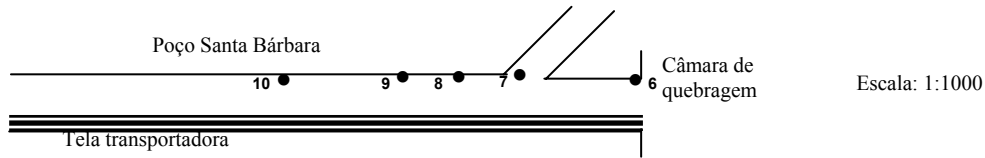


Figura 8.36 – Estações de medição do ruído (dB) no poço de Santa Bárbara próximo do britador primário

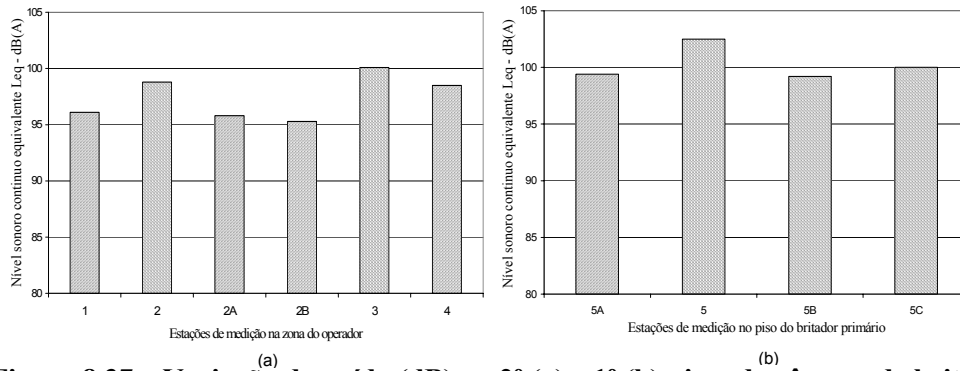


Figura 8.37 – Variação do ruído (dB) no 2º (a) e 1º (b) pisos da câmara de britagem primária

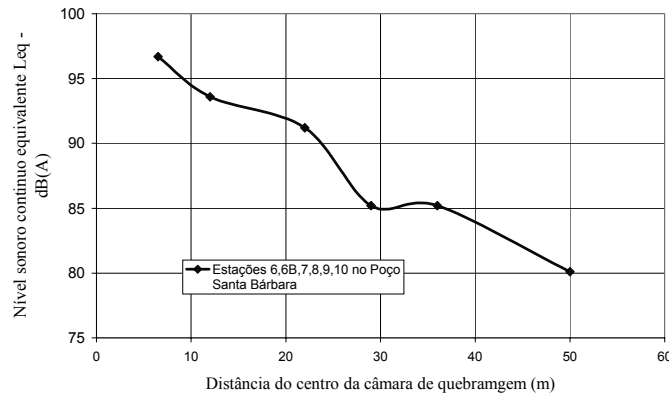


Figura 8.38 – Variação do Leq (dB) no poço de Santa Bárbara

d) Jumbo para perfuração: para o estudo do impacto sonoro gerado pela operação dos jumbos, foi escolhido o desmonte L3.D21.R-2.AW30.Ptos.383-383 onde opera o jumbo Tamrock monomatic H 107 no.2, nas áreas identificadas com as estações de medição ilustradas na fig. 8.39, cuja tendência é ilustradas na fig. 8.40.

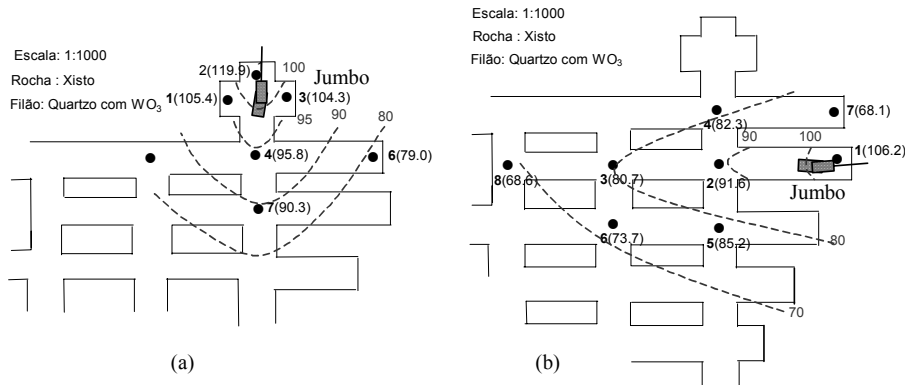


Figura 8.39 – Estações de medição e isovalores do ruído (dB) tendo como fonte o Jumbo no. 2 em operação de perfuração de duas frentes do desmonte L3.D21.R-2.AW30

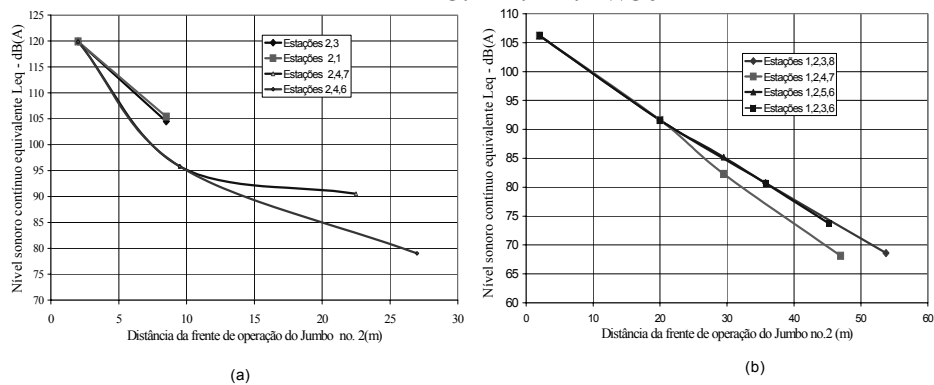


Figura 8.40 – Variação do ruído (dB) gerado pelo Jumbo no. 2 em duas frentes no desmonte L3.D21.R-2.AW30 (a e b são correspondentes à fig. 8.39)

A variação do ruído é aproximadamente similar em diferentes posições das frentes, com um rápido decréscimo em câmaras protegidas pelo pilar. No entanto, nas câmaras com acesso directo a variação em função da distância é linear.

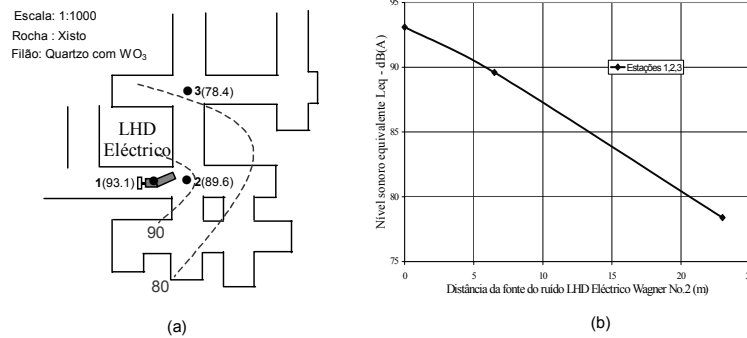


Figura 8.41 – Estações de medição, isovalores (a) e variação (b) do ruído produzido pelo LHD Wager EST-2D no. 2, no desmonte L3.D21.R-2.AW30.Pto.353

e) **LHDs eléctricos e diesel:** as medições do ruído produzidos pelas pás (LHDs) eléctricas realizaram-se no desmonte L3.D21.R-2.AW30.Pto.353 localizando as estações de medição como se encontra ilustrado na fig. 8.41.a, cujos registos estão no Anexo 8.5 e a sua tendência na fig. 8.41.b. As medições de ruído produzido pelas pás diesel foram realizadas nos desmontes L3.D19.R-3.AW34.Pto.80 (fig. 8.42.a) e L3.D19.R-3.AW34.Pto.84 (fig. 8.42.b), no momento da operação do LHD Wagner ST-3.5 (no. 15). As estações de medição estão indicadas na fig. 8.42e as tendências na fig. 8.43.

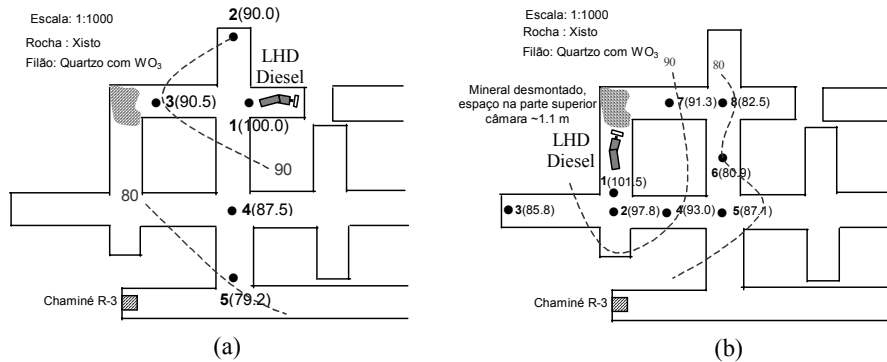


Figura 8.42 – Estações de medição e isovalores do ruído produzido pelo LHD Wagner ST-3.5 (no. 15) no desmonte L3.D19.R-3.AW34.Ptos.80 (a) e 84 (b)

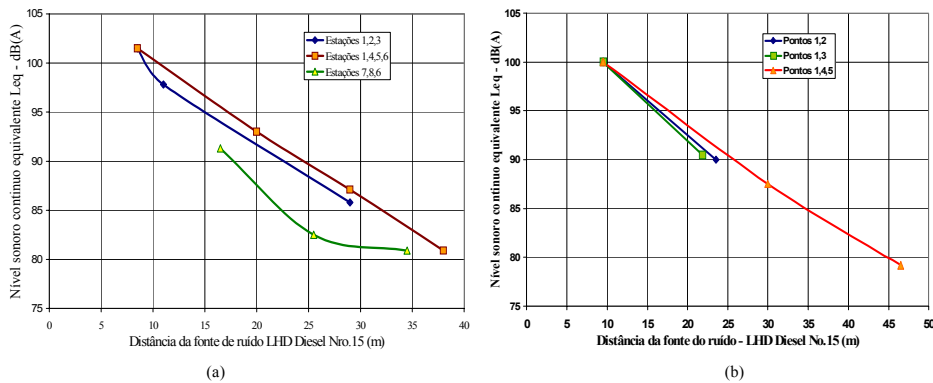


Figura 8.43 – Variação do Leq gerado pelo LHD diesel Wagner ST – 3.5, a partir de 0 m (frente de remoção) indicado como o ponto 1 (correspondente aos desmontes da fig. 8.42)

O Leq máximo produzido pelo LHD diesel é de 101.5 dB com persistência a uma distância considerável.

f) **Cabeça de correia:** para a caracterização da tendência do ruído gerado pelo sistema da correia transportadora e transferência do material ao silo na cabeça de correia, determinou-se a localização das estações de medição na zona da casa da cabeça de carreira e do poço Santa Bárbara, tal como são mostradas na fig. 8.44.a, e a tendência do nível sonoro contínuo equivalente na fig. 8.44.b.

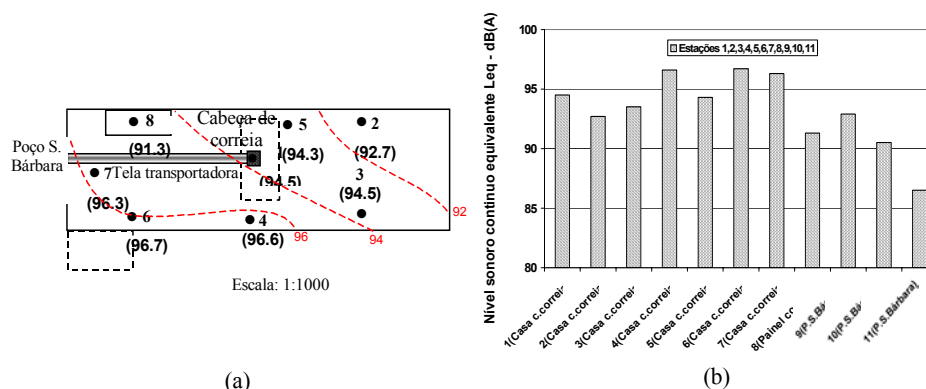


Figura 8.44 – Estações de medição, isovalores e variação do ruído (Leq) na casa da cabeça de correia do poço de Santa Bárbara

Na sala de controle do sistema da cabeça da correia, apesar de estar isolado existe um nível sonoro de 91.3 dB.

A tendência do Leq registadas nas estações de medição da casa da cabeça de correia e parte próxima ao do poço Santa Bárbara (fig. 8.44.b) mostra um maior nível sonoro na zona Sudeste da casa e, no poço de Santa Bárbara, existe uma gradual atenuação até o ponto 11 que corresponde ao início da maior inclinação da rampa.

g) Camiões dumper e tractor: os camiões Dumper (Wagner MT-413) realizam a operação de transporte do desmote do nível 3 ao nível 2 pela galeria P-5 (nível 3) e pela rampa L2/L3 e os tractores AGRIA (no. 11), pela rampa de Rebordões e rampa L2/L3 e outras rampas. As medições foram feitas para o Dumper na posição do operador e no caso do tractor na carruagem de pessoal a ser transportado. A tendência do nível sonoro na fig. 8.45.a.

h). Locomotivas e virador de minério: o local escolhido para a medição do ruído foi na raquete do poço de extracção do nível 2, com estação de medição acima da máquina e na zona do operador da locomotiva a bateria. No virador de minério a estação localizou-se a dois metros do local de descarga dos vagões. As tendências ilustram-se na fig. 8.45.b.

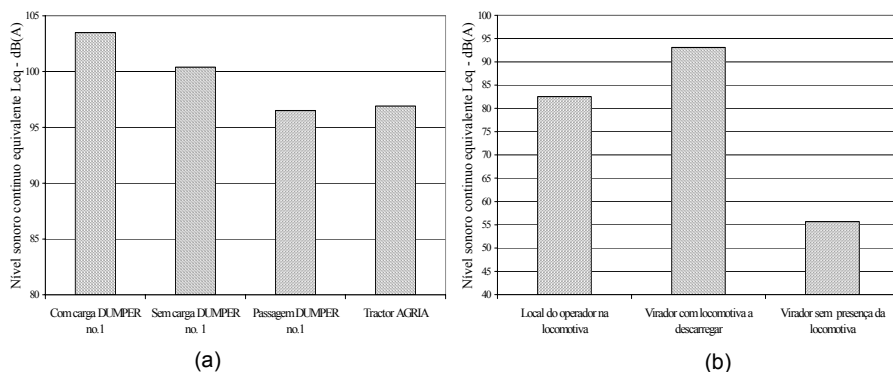


Figura 8.45 – Variação do Leq (dB) pela operação do dumper e tractor (a) e locomotiva no transporte e descarga (b)

Observa-se que na operação de transporte e descarga da locomotiva o maior nível sonoro é na operação de descarga realizado no virador.

8.4.2. Identificação do nível do impacte ambiental acústico

Aplicando a matriz base para a identificação do risco ambiental acústico apresentada na Tabela 3.90 (item 3.7.5) procede-se à identificação do nível do impacte sonoro no ambiente subterrâneo da mina da Panasqueira.

Avaliando com a matriz base referida, os resultados obtidos na parte da caracterização, obtêm-se a matriz de impacte ambiental acústico apresentado na Tabela 8.19, identificando-se que existe um impacte ambiental sonoro *alto*, gerado pela birtagem primário e cabeça de correia, Dumper Wagner, LHD diesel e Jumbo Tamrock; impacte ambiental sonoro *médio* gerado pelos ventiladores, LHD eléctrico e tractor AGRIA ; e *leve* no sistema de extracção e composições.

Tabela 8.19 – Matriz de impacte ambiental acústico no ambiente subterrâneo

LOCAL		Tempo exposição (horas)	Dist. atingida (m)	Homens	Nível de impacte acústico
Frente de trabalho	Equipamento				
L2.D15.Raquete	Sistema de extracção, guincho e vagões	6.5	5 a 18 do Poço	8	∇
L3.D15.Galerias base	Sistema de extracção e vagões	6.5	14 a 27 do Poço	8	∇
L2. Virador minério	Locomotiva e vagões (no virador)	1.0	-	1	∇
L2.Galeria D23 L2.Ch.R-4.D23	2 Ventiladores de 80 hp 1 Ventilador de 80 hp	Eventual	42 a 18 do vent.	Variáv.	⊗
L3.D19.R- 3.AW34.Pto.60	1 Ventilador auxiliar de 7.5 kW	Eventual	9 a 21 do vent.	Variáv.	⊗
Câmara de Quebragem	Britador primário Sistema de tela transportadora	2.05	50 da câmara	1	◆
L3.D21.R- 2.AW30.Pto.383 L3.D21.R- 2.AW30.Pto.382	Jumbo Tamrock H107 (no. 2) Jumbo Tamrock H107 (no. 2)	5.6	20 a 30 do frente de furac.	2	◆
L3.D21.R- 2.AW30.Pto.353	LHD Wager EST-2D (no. 2) eléctrico	5.2	13 do LHD	2	⊗
L3.D19.R- 3.AW34.Pto.80 L3.D19.R- 3.AW34.Pto.84	LHD Wagner ST-3.5 (no. 15) diesel	6.3	22 a 35 LHD	2	◆
L3.Gal.P-5, rampa L2/L3	Dumper Wagner MT-413(no. 1)	6.5	-	1	◆
Rampas Rebordões, L2/L3	Tractor AGRIA (no. 11)	Eventual	-	13	⊗
Casa Cabeça de Correia Poço S. Bárbara C.Correia	Correia transportadora, silo de transferência	2.05	Até mais de 80	1	◆

∇ Leve ⊗ Moderado ◆ Alto

8.4.3. Medidas correctivas

A alternativa mais viável neste caso é a protecção do ouvido. O Decreto Regulamentar n.º 9/92 de 28 de Abril no seu Anexo III da indicação para a selecção dos protectores de ouvido, em função da atenuação por bandas de oitava e atenuação estimada ENR dos protectores, definido pela ISO/DIS 8353.

O primeiro método é baseado nas medições em cada posto de trabalho do nível de pressão sonora contínua equivalente e em cada banda de oitava (63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 hertz), depois aplicar a ponderação A, para cada banda e, desta forma obter a exposição diária efectiva.

No mercado existem muitos fabricantes que proporcionam protectores de ouvido de tipo tampão e auriculares que, entre as características técnicas que referem, existe o nível de protecção presumível, por exemplo para a BILSOM indicados na Tabela 8.20 e Tabela 8.21.

**Tabela 8.20 – Característica técnica do protector de ouvido tampão
BILSOM Série 300**

Frequência (hertz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Atenuação média (dB)	28.4	37.3	37.9	39.1	36.0	34.6	42.5	46.4
Desviação padrão (dB)	6.4	9.0	9.2	9.7	7.9	4.6	4.9	4.7
Protecção presumível (dB)	22.0	28.3	28.7	29.4	28.1	30.0	37.6	41.7

**Tabela 8.21 – Características técnicas do protector de ouvido tampão de silicone
BILSOM PERFLEX**

Frequência (hertz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Atenuação média (dB)		26.2	24.9	25.9	24.0	29.4	33.0	31.4
Desviação padrão (dB)		6.1	6.0	6.6	6.1	3.9	4.5	5.6
Protecção presumível (dB)		20.1	18.9	19.3	17.9	25.5	28.5	25.8

Da mesma forma, existem muitos modelos de protectores com orelheira desta mesma marca (Viking, Confort, 717, 727, Economy, 747, Pocket, Impact, etc.), que pesam desde 135 g até 336 g e podem atenuar (29, 25, 27, 23, 22, 26, 27, 26, 26, etc.) respectivamente.

Portanto, baseado no protector de ouvido desta marca, a medida correctiva é como a apresentada na Tabela 8.22.

Tabela 8.22 – Tipos de protector recomendados para atenuar o impacte ambiental sonoro

Local		Tipo de protector de ouvido BILSOM
Frente de trabalho	Equipamento	
L2.D15.Raquete	Sistema de extracção, guincho e vagões	PERPELX
L3.D15.Galerias base	Sistema de extracção e vagões	PERPLEX
L2. Virador minério	Locomotiva e vagões (no virador)	PERPLEX
L2.Galeria D23, L2.Ch.R-4.D23	2 Ventiladores de 80 hp, 1 Ventilador de 80 hp	PERPLEX
L3.D19.R-3.AW34.Pto.60	1 Ventilador auxiliar de 7.5 kW	PEPLEX
Câmara de Quebragem	Britador primário Sistema de tela transportadora	PERPLEX
L3.D21.R-2.AW30.Pto.383	Jumbo Tamrock H107 (no.2)	Serie 300 ou Viking
L3.D21.R-2.AW30.Pto.382	Jumbo Tamrock H107 (no.2)	
L3.D21.R-2.AW30.Pto.353	LHD Wager EST-2D (no.2) eléctrico	Serie 300 ou Viking
L3.D19.R-3.AW34.Pto.80	LHD Wagner ST-3.5 (no.15) diesel	Serie 300 ou Viking
L3.D19.R-3.AW34.Pto.84		
L3.Gal.P-5, rampa L2/L3	Dumper Wagner MT-413(no.1)	Serie 300 ou Viking
Rampas Rebordões, L2/L3	Tractor AGRIA (no.11)	PERPLEX
Casa Cabeça de Correia Poço S. Bárbara C.Correia	Correia transportadora, Torva de transferência	Serie 300 ou Viking

8.4.4. Monitorização e controle

Aplicada a medida correctiva é necessário acompanhá-la com um processo de capacitação do pessoal de tal forma que tomem consciência do risco ambiental a que estão expostos e que os dispositivos de protecção dotados sejam efectivamente utilizados efectivamente.

Por outro lado, será necessário implementar uma supervisão permanente que permita obter uma real e efectiva aplicação da medida correctiva.

8.5. Avaliação do Risco Ambiental no Domínio Ambiental de Água Subterrânea

8.5.1. Caracterização da situação da água subterrânea

8.5.1.1. Hidrogeologia da zona

A zona de localização da mina tem uma precipitação média de 1602 mm/ano, com uma variação média mensal indicada na fig. 8.46, para o ano hidrológico de 1998/99 (Instituto Nacional de Água (INAG) do Ministério do Ambiente).

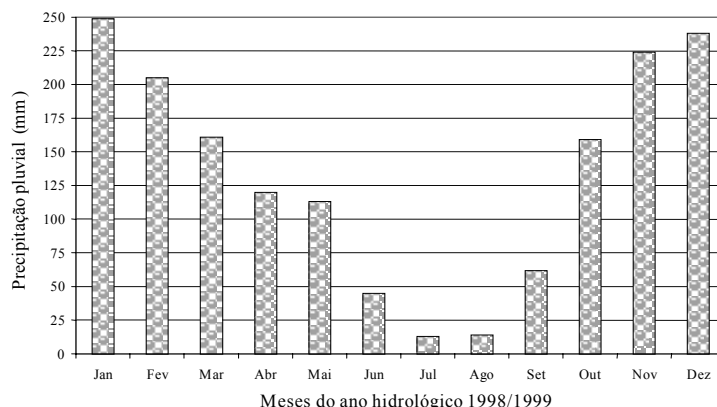


Figura 8.46 – Precipitação do ano hidrológico 1998/99 (elaborado com registos da Estação Meteorológica 12L/03 de Covilhã do INAG – DHRH SNIR – Ministério do Ambiente, 2000 disponível em <http://www.inag.pt/>)

O registo estatístico mostra que o maior nível de precipitação pluviométrica na zona ocorre em Janeiro. Portanto as medições feitas no ambiente subterrâneo (Janeiro 2001) correspondem à maior presença da água (caudal) na mina.

Fisiográfica e topográfica, a área superficial das operações subterrâneas actuais é de carácter montanhoso com altitude que varia de 650 a 950 metros. Esta fisiografia concentra 6 linhas de água superficiais perfeitamente definidas (fig. 8.47), que confluem à ribeira denominada Bodelhão.

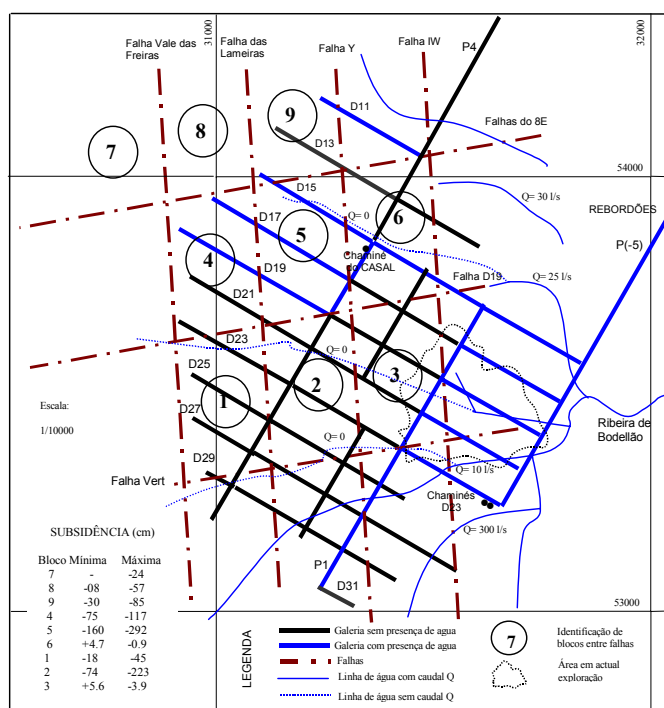


Figura 8.47 – Mapa de correlação de água presente no subsolo, linhas de água superficiais e subsidência do maciço rochoso (elaborado com base nas medições feitas em Janeiro 2001 e estudo realizado por C. Dinis da Gama, 1998)

Na superfície correspondente à área da exploração, existe subsidência do maciço rochoso influenciado pelas aberturas subterrâneas, produto da exploração (fig. 8.5), delimitando blocos rochosos (fig. 8.47) pelas quatro falhas com direcção Norte Sul e inclinação de 80° a 87° com sentido Este (Vale das Freiras, Lameiras, Y e IW) e três falhas com rumo de Este Oeste com inclinação de 63° a 89° no sentido Norte (8E, D19 e outra falha ao Sul registada com nome *de vert.* em carta).

A fig. 8.47 permite caracterizar que, na área da subsidência e nas linhas naturais de água superficial, não existe escoamento de água, indicando que existe filtração para o meio subterrâneo, concentrando-se nas aberturas subterrâneas localizadas por baixo da área desta subsidência.

8.5.1.2. Caracterização quantitativa da água subterrânea

Para caracterizar a quantidade e qualidade da água subterrânea presente na mina da Panasqueira realizaram-se colheitas (fig. 8.48) e medições de caudal (fig. 8.49) de água presente em todas as frentes de trabalho compreendidas entre o nível 1 e o nível 3 em estações adequadamente identificadas (figura do Anexo 8.6) em data compreendida entre 12 a 17 de Janeiro de 2001, baseado nos procedimentos técnicos desenvolvidos no capítulo 3 da segunda parte e especificamente, consoante aos padrões referidos na Tabela 4.98, cujos resultados estão no Anexo 8.7



Figura 8.48 – Colheita de água nas aberturas subterrâneas

No aspecto quantitativo, a água presente no ambiente subterrâneo tem as características apresentadas na Tabela 8.23 e Tabela 8.24 e os gráficos ilustrados na figura 8.50, que se pode resumir nos termos a seguir:

O maior caudal total de água medido corresponde ao nível 2 (168.13 l/s), e o menor no nível 3 (125.53 l/s), sendo que, no nível 1 escoam um caudal intermédio (146.60 l/s). No nível 1 a maior fonte de água (91.70 l/s) verifica-se na zona Norte (D2.W, D1.W, P4 e P3 que drena à Fonte de do Masso e Salqueira). No nível 2 as maiores fontes de água são as da zona Oeste que corresponde a D15.W (100.26 l/s), da zona Sudoeste que é principalmente da D19.W (57.24 l/s) e do Sudeste da D23 e P1 (55.86 l/s). Este caudal de água drena pelo nível 530 (Salqueira);



Figura 8.49 – Medições de velocidade e caudal de água subterrânea

O balanço hídrico de água subterrânea, considerando o caudal total medido em Salgueira (810.22 l/s) indica que desta quantidade (45%) provém das zonas Norte da galeria Salgueira, ou seja, das zonas de explorações antigas do nível 0 e 16% (125.53 l/s) da zona do nível 3, que precisa ser controlada com sistema de bombagem.

Tabela 8.23 – Caracterização de caudal de águas subterrâneas baseadas nas medições realizadas de 12 a 17 de Janeiro de 2001

Nível	Fontes da água	Caudal (l/s)	Caudal (l/s)	Drenagem por	Drenagem para	Drenagem
1	Zona D11.W	3.31	146.60	R4.D5	L530 Salgueira	Gravidade
	Zona D2.W, D1.W, P4, P3	12.99		D1.P2xS	L530 Salgueira	Gravidade
	Zona D2.W, D1.W, P4, P3	91.70		Gal. F. Masso	Fonte Masso	Gravidade
	Poço Santa Bárbara	30.00		Poço S.Bárbara	L530 Salgueira	Gravidade
	Rampa de Rebordões	8.60		Poço S.Bárbara	L530 Salgueira	Gravidade
2	Zona P4 Norte	7.53	168.16	R4.D11	L530 Salgueira	Gravidade
	Zona D15.W	100.26		P4 e R4.D15	L530 Salgueira	Gravidade
	Zona D17W	3.10		P4 e Ch.Casal	L530 Salgueira	Gravidade
	Zona D19.W	57.24		P4 e Ch.Casal	L530 Salgueira	Gravidade
	Zona P1 Sul	45.86		D23E P1, D15E	L530 Salgueira	Gravidade
3	Zona AW27 (L2.D23.E)	10.00	125.53	D23.E,P1,D15.E	L530 Salgueira	Bombagem
	Zona AW31(r. D19) L3	43.97		Ac. Rampa D19	L530 Salgueira	Bombagem
		71.56		Rampa L2/L3	L530 Salgueira	Bombagem

Tabela 8.24 – Balanço hídrico das águas subterrâneas com descarga em Salgueira

Fonte da água	Caudal (l/s)	Percentagem (%)
L1	146.60	18
L2	168.13	21
L3	125.53	16
L0 e outros*	369.96	45
TOTAL ambiente subterrâneo	810.22	100

* Estimado por diferença

Desta forma, a quantidade de água que se precisa controlar, mediante um sistema de bombas, é de um total de 125.53 l/s, do qual 53.97 l/s era controlado mediante bombas submersas (desmontes) e 71.56 l/s pela estação de bombagem.

O maciço rochoso onde se realizam os trabalhos de exploração é formada por xisto algo compacto, pelo que, a maior influência para a presença de água nos trabalhos subterrâneos são as 4 falhas com direcção Norte – Sul e 3 falhas com direcção Este – Oeste (fig. 8.47), que provocaram a subsidência dos blocos formados entre elas.

Na Tabela 8.25 observa-se que a zona com maior caudal de água (160.6 l/s) é a parte Oeste do P4 entre o D15 e D19, que corresponde à maior subsidência existente (117 cm a 292 cm).

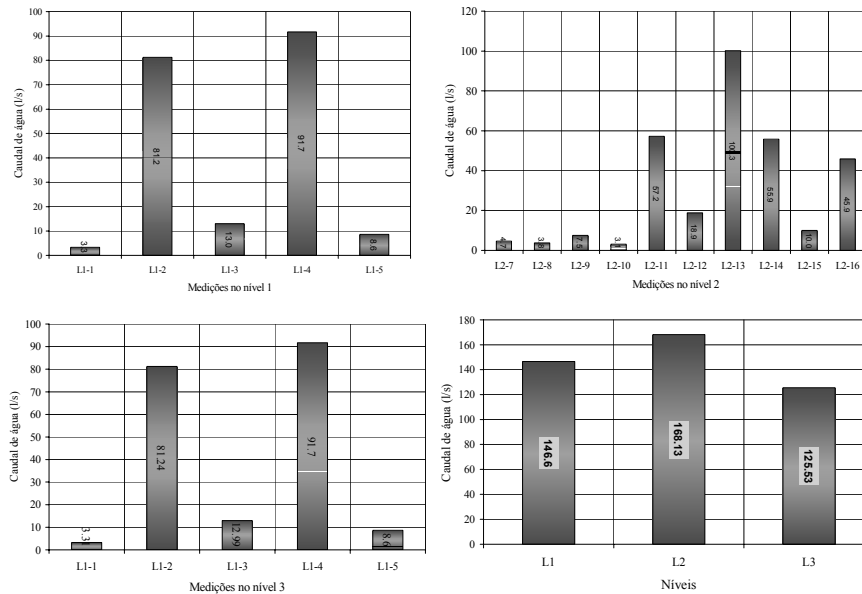


Figura 8.50 – Caudal de água no ambiente subterrâneo nos níveis 1, 2 e 3

Tabela 8.25 – Correlação de água subterrânea, água superficial e subsidência do maciço

Nível	Identificação de água no subsolo			Bloco entre falhas (subsidência máxima)	Água superficial	
	Ambiente subterrâneo	Caudal (l/s)	pH		Quantidade de linhas de água	Caudal (l/s)
1	D11.W	3.31	7.43	9 (85 cm)	1	-
2	D15.W	100.26	4.70	9,5(292 cm)	1	0.0
	D17.W	3.10	4.70	4,5(117 cm)	1	0.0
	D19.W	57.24	3.16	4,5(117 cm)	-	-
	P1 Sul	45.86	4.31	3(5.6 cm)	2	0.0 e 10.0
3	AW27 (D.23)	10.00	6.20	-	2	0.0 e 10.0
	AW31 (r.D19)	43.97	3.70	2,3(223 cm)	2	0.0 e 0.0
	P(-5)	71.56	6.72	2,3(223 cm)	3	0.0, 0.0 e 10.0

Em áreas afectadas pela subsidência não existe escoamento de água nas linhas de água naturais, com uma clara indicação que toda esta água drena para as aberturas do ambiente subterrâneo.

A presença dum caudal de 10 l/s e 300 l/s nas linhas naturais da zona Sudoeste, que corresponde à parte superior da galeria P4 (área definida por P(-5), P1 e D23, D31) e da zona Sudoeste de P(-5)), indicam uma zona ainda sem problemas de subsidência do maciço rochoso.

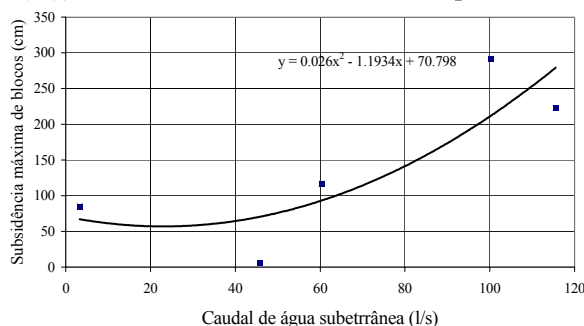


Figura 8.51 – Correlação da subsidência máxima dos blocos Vs. Caudal de água subterrânea

A área com actual exploração (entre P1, P(-5) e D17, D23) ainda não tem uma grande influência na subsidência do maciço (5.6 cm), aspecto que se verifica com a inexistência de água nas linhas da parte Oeste e ainda presença de água nas linhas da parte Este. Contudo observou-se no subsolo que os desmontes abandonados como o AW27 já estão no início do abatimento.

A curva de correlação entre subsidência máxima dos blocos Vs caudal de água subterrânea (fig. 8.51) mostra que o factor presença de água contribui consideravelmente na maior ou menor subsidência dos blocos, actuando como um meio lubrificante nos contactos das falhas principais.

8.5.1.3. Caracterização qualitativa da água subterrânea

Os resultados das análises realizadas das amostras de água obtidas do ambiente subterrâneo e da montante e jusante da ribeira de Bodelhão (descarga pela galeria de Fonte do Masso e da Salgueira) no laboratório da mina da Panasqueira estão apresentados no Anexo 8.7 e ilustradas nas figuras 8.52, 8.53, 8.54 e 8.55.

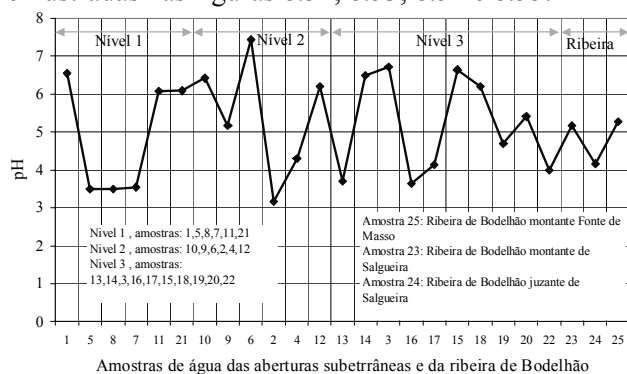


Figura 8.52 – pH da água subterrânea que drena nas aberturas subterrâneas, na descarga e a montante e jusante da ribeira de Bodelhão

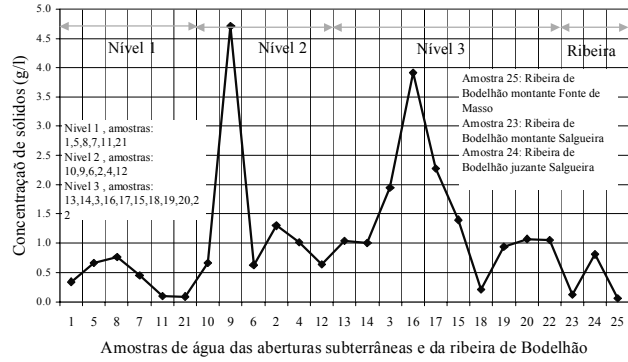


Figura 8.53 – Concentração de sólidos na água que drena em aberturas subterrâneas e na ribeira de Bodelhão

O pH da água no ambiente subterrâneo oscila entre 3.0 e 6.5, apresentando um pH de 4 no ponto de descarga para o exterior, correspondendo a drenagem ácida. O pH da água na ribeira de Bodelhão oscila entre 4 e 5, o qual permite concluir que esta água é também ácida.

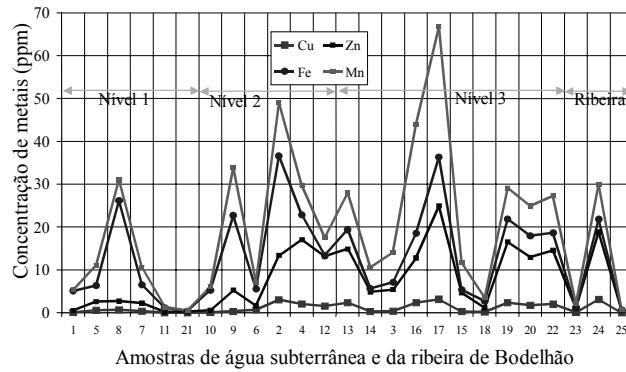


Figura 8.54 – Concentração de metais na água subterrânea que drena em aberturas subterrâneas, na descarga e no montante e jusante a ribeira de Bodelhão

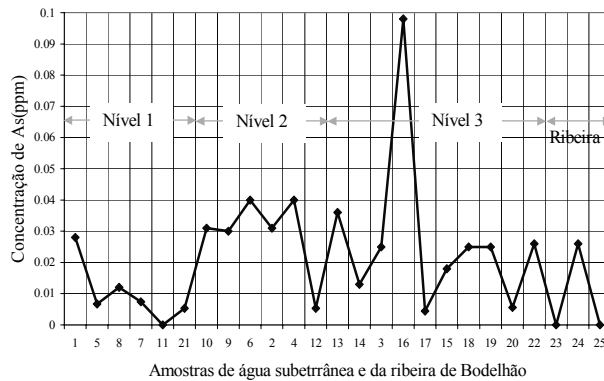


Figura 8.55 – Concentração de arsênio na água que drena em aberturas subterrâneas e na ribeira de Bodelhão

No ambiente subterrâneo do nível 1, sólidos em suspensão apresentam-se uma concentração inferior à dos níveis 2 e 3. As águas dos níveis 2 e 3 são mais turvas, dado que são níveis em actual operação existindo operações relacionadas à extracção (nível 2). Na ribeira de Bodelhão, a montante das descargas da mina, existe uma concentração muito baixa de sólidos.

As águas dos níveis 2 e 3 apresentam uma maior concentração de metais que as do nível 1 e as da ribeira de Bodelhão. A ribeira de Bodelhão, a montante ao ponto de descarga da galeria da Salgueira apresenta uma menor concentração de metais em relação ao montante à Fonte de Masso e jusante à Salgueira.

8.5.2. Identificação do impacte ambiental pela acção da água subterrânea

8.5.2.1. Risco ambiental devido ao caudal

As águas presentes no nível 1 e 2 drenam para o exterior por gravidade (Tabela 3.60) pelo que, não apresenta risco ambiental subterrâneo e conseqüentemente, o risco está centrado no caudal de água presente no nível 3. Nas Tabelas 3.60 e 3.61 indica-se que, a quantidade de água que drena no sentido da estação de bombagem é de 71.56 l/s e representa o valor máximo, pois foi medido no mês de maior precipitação pluvial (fig. 8.46) e ainda quando decorreu uma inundação desta mina ($Q_{m\acute{a}x}$), com risco dum acréscimo até 125.53 l/s na hipótese de aluimento nos desmontes AW27 (L2.D23E) e AW31 (rampa D19).

Para a identificação do risco ambiental aplica-se a matriz base elaborada com um padrão referencial (Tabela 4.11) que neste caso é 71.56 l/s, obtendo-se uma matriz base específica para o caso da mina da Panasqueira (Tabela 8.26).

8.5.2.2. Risco ambiental devido à qualidade

A nível geral, o pH de águas identificadas no ambiente subterrâneo da mina da Panasqueira tem pH menor que 7, pode-se portanto, qualificar-las como água ácida.

É óbvio que não tem sentido realizar avaliação do risco ambiental da qualidade da água no ambiente subterrâneo, mas a partir do ponto de descarga, existe o risco, pela acção da água ácida, de produzir contaminação da água superficial que escoar na ribeira de Bodelhão, portanto, a avaliação do risco ambiental inclui colheita a montante das descargas.

Tabela 8.26 – Matriz base e avaliação do risco ambiental devido ao caudal de água subterrânea na mina da Panasqueira

Matriz base		Avaliação do risco ambiental	
Nível de risco	$Q_{m\acute{a}x}$ e Q (l/s)	Q (l/s)	Nível de risco
Leve ▽	$71.56 \leq Q \leq 75.14$	125.53	Alto ◆
Moderado ⊗	$75.14 < Q \leq 78.72$		
Alto ◆	$Q > 78.72$		

A identificação do risco ambiental, pela alteração da qualidade de água superficial, provocado pela descarga de água da mina (água ácida), faz-se aplicando a matriz base elaborada no Capítulo 4, da segunda parte do presente livro, considerando a norma Europeia e Portuguesa e em função do tipo de utilização (rega, consumo humano, piscícola) (Tabela 4.12) que, aplicando esta matriz às condições de qualidade da água da ribeira de Bodelhão (jusante à descarga de água de mina), resulta a matriz de impacte ambiental apresentada na Tabela 8.27.

A matriz de impacte ambiental e as ilustrações na fig. 8.56 e fig. 8.57 mostram que na altura das medições realizadas, a drenagem ácida de rochas descarregada pelas galerias de Fonte de Masso e Salgueira poluem a água da ribeira de Bodelhão, num nível *moderado para a rega*, e *alto para consumo humano e piscícola*, podendo-se concluir também que existe um *alto* risco ambiental para os *recursos animais* na água da ribeira. Outra conclusão é de que a água subterrânea descarregada pela Fonte de Masso tem muito pouca influência na contaminação da água da ribeira.

Tabela 8.27 – Matriz de impacte ambiental da qualidade da água subterrânea

Localização das águas	Nº	Poluente	Registo C _r (ppm)	Nível do risco ambiental				
				Para rega		Para consumo humano		Para peixes
				C _{VLA} (ppm)	Risco	C _{VLA} (ppm)	Risco	Risco
Ribeira de Bodelhão, a montante da Fonte do Masso (primeira descarga de água ácida)	1	pH	5.27	4.5 - 9.0	-	6.5 - 8.5	∇	∇
		Cu	0.04	5	-	0.10	-	-
		Zn	0.52	10	-	-	-	-
		Fe	0.13	-	-	0.20	-	-
		Mn	0.09	10	-	0.05	◆	-
		As	0.00	10	-	0.05	-	-
Ribeira de Bodelhão, a montante da Salgueira (segunda descarga de água ácida)	2	pH	5.16	4.5 - 9.0	-	6.5 - 8.5	⊗	∇
		Cu	0.15	5	-	0.10	◆	-
		Zn	1.04	10	-	-	-	-
		Fe	0.03	-	-	0.20	-	-
		Mn	0.87	10	-	0.05	◆	-
		As	0.00	10	-	0.05	-	-
Galeria da Salgueira (descarga de água subterrânea ácida)	3	PH	3.99	4.5 - 9.0	∇	6.5 - 8.5	◆	◆
		Cu	2.01	5	-	0.10	◆	◆
		Zn	12.60	10	◆	-	-	◆
		Fe	4.09	-	-	0.20	◆	-
		Mn	8.60	10	-	0.05	◆	-
		As	0.026	10	-	0.05	-	-
Ribeira de Bodelhão, a jusante de Salgueira (água drena no para rio Zêzere)	4	pH	4.18	4.5 - 9.0	∇	6.5 - 8.5	◆	⊗
		Cu	3.11	5	-	0.10	◆	◆
		Zn	15.80	10	◆	-	-	◆
		Fe	2.91	-	-	0.20	◆	-
		Mn	8.20	10	-	0.05	◆	-
		As	0.026	10	-	0.05	-	-

∇ Leve ⊗ Moderado ◆ Alto

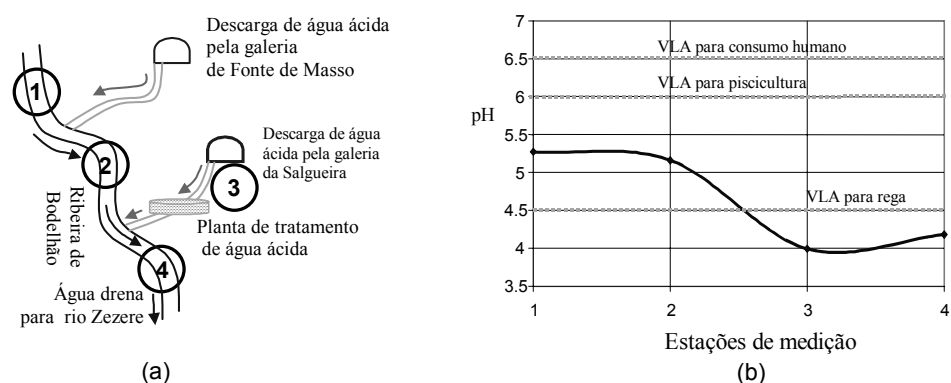


Figura 8.56 – Pontos de colheita da água (a), acidez e valores limite admissíveis (b) na descarga de água de mina e água da ribeira de Bodelhão

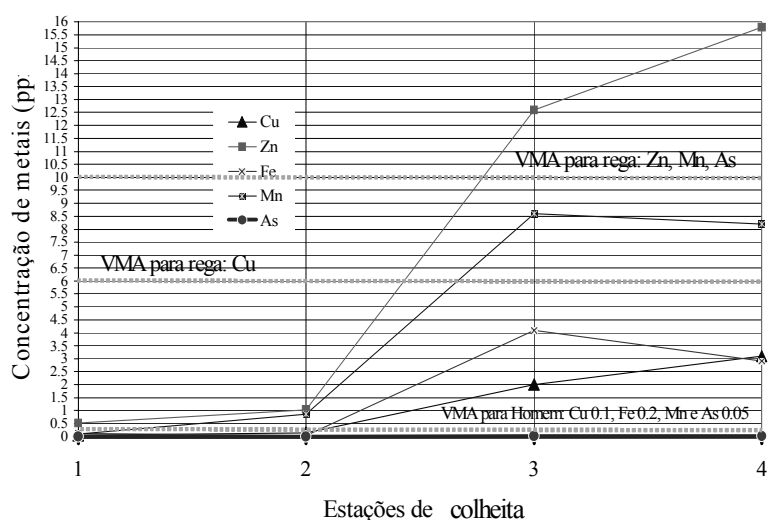


Figura 8.57 – Concentração de metais nos pontos de colheita da ribeira de Bodelhão

8.5.3. Medidas correctivas para atenuar o risco ambiental

8.5.3.1. Para o risco ambiental devido ao caudal da água

O impacte ambiental da água subterrânea devido ao caudal, está identificado em relação ao risco de inundação do nível 3, assim, a técnica mais adequada é a de bombagem.

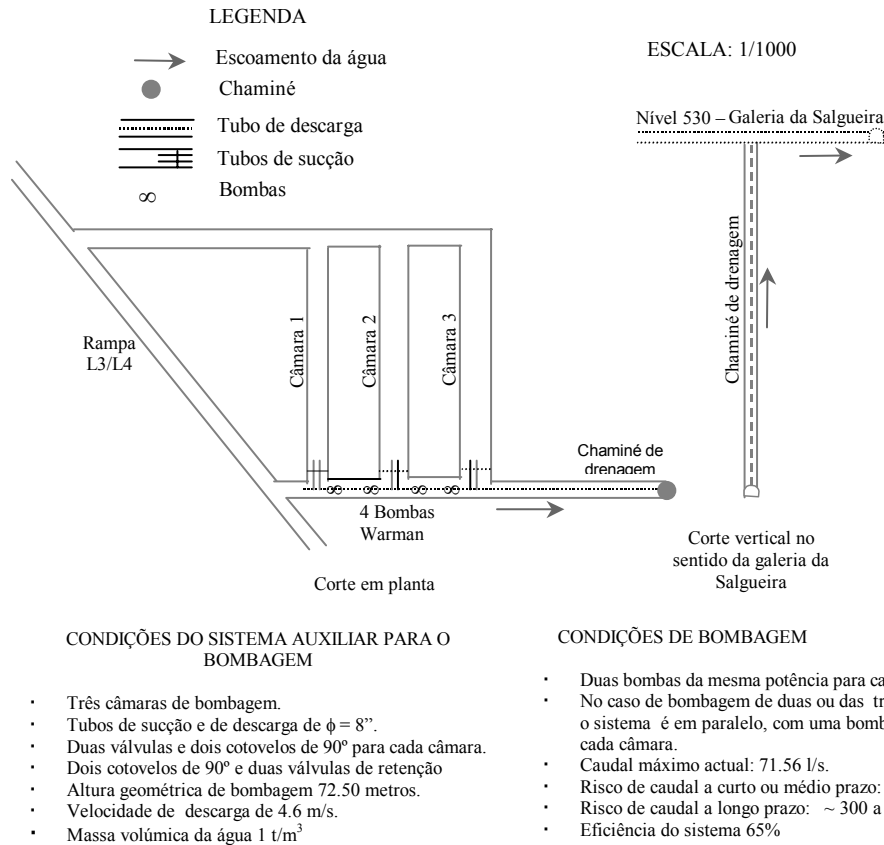


Figura 8.58 – Sistema de bombagem de água do nível 3 com capacidade instalada de 280 l/s

Actualmente a estação de bombagem está instalada a uma cota de 457.50, é composta por 3 câmaras de armazenagem de água (1, 2 e 3) escavadas em rocha com uma inclinação negativa no sentido da galeria das bombas, e tem instaladas 2 bombas Warman de 150 kW para a câmara 1 e outras duas bombas, também Warman de 100 kW, para a câmara 2, não tendo a câmara 3 ainda não instaladas. A água é bombeada mediante tubos instalados na galeria das bombas e na chaminé de drenagem que comunica com o nível 530 (Galeria da Salgueira) para ser descarregada pela boca da galeria da Salgueira (fig. 8.58).

Para as características de infra-estrutura subterrânea da estação de bombagem e condições mostradas a seguir, procedeu-se à simulação da potência instalada necessária das bombas e as alternativas de resolver o potencial risco ambiental, já caracterizado, aplicando as equações 4.11 a 4.17.

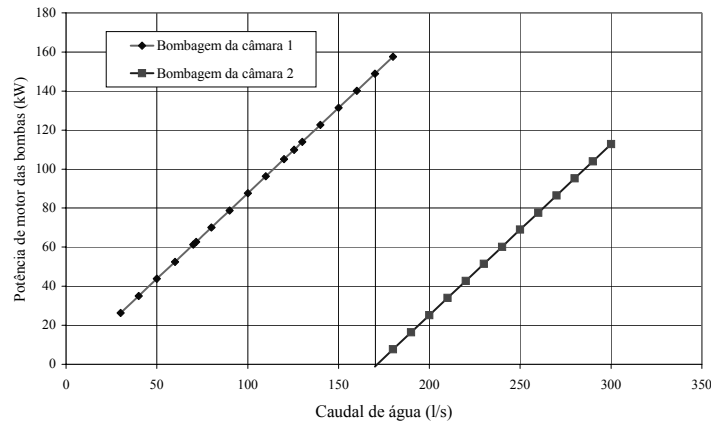


Figura 8.59 – Variação do caudal em função da potência da bomba para controlar a inundação na estação de bombagem

A aplicação das referidas equações considerando que, no caso de se ultrapassar a capacidade da bomba instalada na câmara 1 (150 kW), entraria em operação imediatamente a bomba instalada na câmara 2 (100 kW), permite obter as equações particulares seguintes:

$$PB_1 = 0.875861Q \text{ (Para bombagem da câmara 1).}$$

$$PB_2 = 0.875861Q - 150 \text{ (Para bombagem das câmaras 1 e 2).}$$

A simulação com estas equações utilizando o programa EXCEL (como está ilustrado na fig. 8.59) permite concluir que as bombas da câmara 1 tem capacidade próxima para esgotar água de 125.53 l/s e que a bomba da câmara 2 só entraria a operar na hipótese de ultrapassar um caudal de 179 l/s.

Portanto, a capacidade instalada actualmente existente na estação de bombagem é suficiente para atenuar o alto risco ambiental existente.

8.5.3.2. Para o risco ambiental devido à drenagem ácida

Inicialmente deve-se realizar testes a nível laboratorial, por forma a passar a nível piloto com os resultados obtidos e finalmente à escala industrial. Para o caso da mina da Panasqueira propõe-se aplicar o processo passivo anaeróbio (*charco*).

a) A nível de laboratório e a nível piloto: a nível de laboratório o objectivo é encontrar substratos adequados e disponíveis, que possam ser utilizados como componentes básicas do sistema de tratamento passivo, além de produzir redução biológica do sulfato.

Os testes laboratoriais do tratamento de efluentes ácidos iniciam-se com processos de biodegradação anaeróbio em recipientes, utilizando 100 g de substrato e 150 ml de efluente ácido de mina (Figueroa, R., *et al*, 1999). Estabeleceram-se várias combinações (aproximadamente 30) com diferentes concentrações destes compostos, realizando medições periódicas do conteúdo dos iões metálicos, pH, sulfato e presença de bactérias sulfato redutoras BSR (determinadas em laboratório de microbiologia).

Os substratos ideais podem ser os compostos de estrume de ovelha e sedimento da lagoa de oxidação, o que permite obter uma grande concentração de bactérias sulfato-redutoras e também diminuição notória da concentração de sulfato presente na solução (Tabela 8.28).

Tabela 8.28 – Reacção de substratos ideais com efluente ácido aos 4 dias (Figuerola, R. et al, 1999)

pH		Bactérias UFB/ml	Sulfato redutores	Redução de SO ₄ ⁼	
Entrada	Saída			Entrada	Saída
3.8	6.9	8 x 10 ⁸	++++	1332	370

Os resultados permitem afirmar que há uma grande actividade das bactérias sulfato redutoras (*Desulfovibrio sp.*) que reduzem o sulfato na água de mina, para produzir sulfureto de hidrogénio e bicarbonato.

O ensaio laboratorial indica que a actividade das bactérias ocorre consoante as equações indicadas na parte c) do item 4.52 do Capítulo 4 da segunda parte do trabalho de investigação, processo este que permite precipitar os metais pesados.

Ao nível piloto é necessário experimentar numa abertura feita em solo (fig. 8.60), compactando-a e colocando no piso e paredes uma geomembrana para a impermeabilização. Seguidamente coloca-se 0.20 m areia grossa e média classificada para depois depositar o substrato com uma altura de 0.50 m e finalmente água neutra com 0.20 m de altura. A água ácida é agregada ao afluente ácido mediante um tubo PVC.

O substrato usado pode ser de 150 kg de serradura de madeira, 487 kg de estrume de ovelha para um efluente ácido de 0.018 l/s.

b). À escala industrial: com os resultados obtidos a nível de laboratório e piloto procede-se à implementação da escala industrial, procedendo-se ao dimensionamento quer dos elementos do reservatório de tratamento quer do substrato para o caudal de águas ácidas existente e estabelecer um processo, aplicando a sequência apresentada na fig. 4.17, esperando-se a ocorrência das equações indicadas para este processo.

A água ácida, com pH de 2.8, é possível elevar até 6.7 e precipitar todos os metais devido à sua capacidade de neutralização.

Portanto, para mitigar o risco ambiental identificado na mina da Panasqueira será necessário avaliar a planta de tratamento de águas ácidas existente e realizar o procedimento experimental indicado, para finalmente controlar o processo.

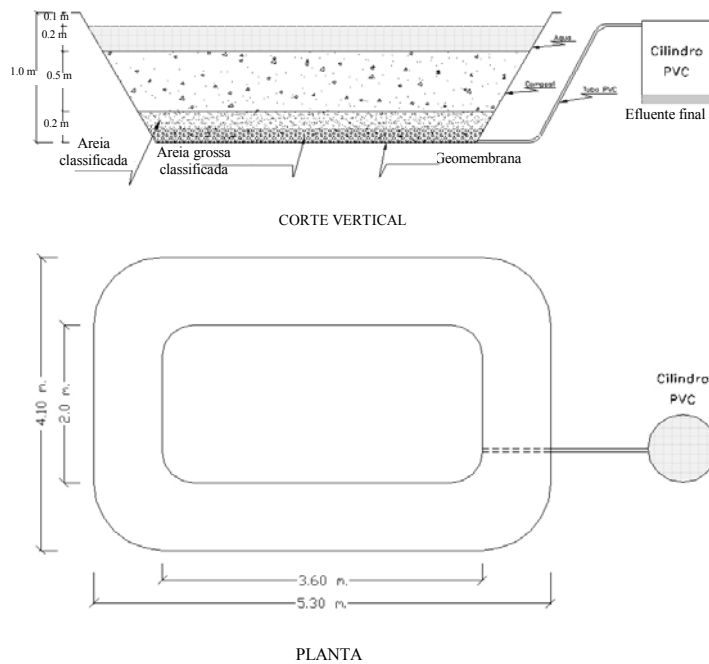


Figura 8.60 – Reservatório para tratamento de água ácida a escala piloto

8.5.4. Monitorização e controle

A monitorização e controle realizam-se aplicando a norma Portuguesa (Decreto Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto) no que está relacionado com as águas superficiais para fins de rega, consumo humano e piscícolas.

O Decreto, no seu anexo III contempla o relacionado com os métodos analíticos de referência para águas superficiais (Tabela 8.29).

Pelo pH e conteúdo de metais, de acordo em referida Norma, a água da ribeira de Bodelhão corresponde aos grupos G1, G2 e G3, portanto, a frequência mínima de amostragem e de análise é de 4 por ano.

Considerando que as águas da ribeira de Bodelhão seriam utilizadas para fins piscícolas a frequência mínima de análise, de acordo com a norma legal, é mensal.

Tabela 8.29 – Métodos analíticos de referência para águas superficiais e para o pH e metais caracterizados (Decreto-lei n.º 236/98 de 1 de Agosto)

Parâmetros	Unidade	Precisão (±)	Exactidão (±)	Método analítico
pH	Esc. Sor	0.1	0.2	Electrometria
Fe	mg/l	10%	20%	Espectrometria atómica ou de absorção após filtração por membrana 0.45 µm
Mn	mg/l	10%	20%	Espectrometria atómica
Cu	mg/l	10%	20%	Espectrometria atómica ou de absorção molecular
Zn	mg/l	10%	20%	Espectrometria atómica ou de absorção molecular
As	mg/l	20%	20%	Espectrometria atómica

8.6. Avaliação do Risco Ambiental Devido a Vibrações do Maciço Rochoso

8.6.1. Caracterização do maciço rochoso devido a vibrações provocadas por explosivo

Para a caracterização da propagação da velocidade das ondas longitudinais (P) no maciço rochoso (xisto) realizaram-se medições das vibrações produzidas pela detonação de cargas explosivas nos desmontes da mina da Panasqueira.

As medições da velocidade de propagação das ondas longitudinais (P) foram realizadas utilizando o sismógrafo BlastMate II DS-277 Instantel (fig. 8.62) da Secção de Exploração de Minas do IST, no momento do rebentamentos de explosivo nos desmontes, com a carga explosiva distribuída, como está indicado na figura 8.61.

As medições foram realizadas para várias distâncias da frente de disparo e diferentes cargas explosivas por retardo (Tabela 8.30), dados as que foram analisados mediante o método estatístico de mínimos quadrados e utilizando um programa denominado mclng, obtendo-se os valores dos coeficientes a, b e c da equação (5.34), complementando-se com resultados de ensaios laboratoriais do maciço xistoso (Tabela 8.31) e caracterizando-se, desta forma, as vibrações produzidas pela detonação das cargas explosivas nos desmontes.

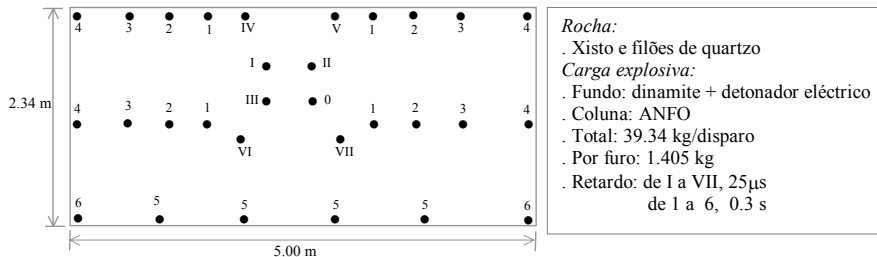


Figura 8.61 – Plano de fogo utilizado nos desmontes da mina da Panasqueira



Figura 8.62 – Medições da velocidade de propagação das ondas P pela detonação de cargas explosivas com sismógrafo BlastMate II DS-277 Instantel, nos desmontes da mina da Panasqueira

Tabela 8.30 – Resultados das medições *in situ* das vibrações por detonação de cargas explosivas nos desmontes da mina da Panasqueira usando BlastMate II DS-277 Instantel

No.	PVS (mm/s)	Distância (m)	Explosivo (kg/retardo)	Detonação simultânea (4 furos/retardo)
1	0.683	300	-	7 a 300 m
2	5.271	30	11.24	2 a 30 m e 6 a 80 m
3	4.366	40	22.48	4 a 40 m a 4 a 65 m
4	10.128	20	11.24	2 a 20 m a 7 a 300 m
5	7.906	30	33.72	6 a 30 m a 1 a 150 m
6	14.097	20	28.10	5 a 20 m a 3 to 100 m
7	2.048	50	5.62	1 a 50 m a 7 to 80 m

Tabela 8.31 - Coeficientes *a*, *b* e *c* e características do maciço xistoso

Coeficientes			Resultados dos ensaios de laboratório	
a	b	c	Resistência à tração σ (Mpa)	7.62 *
471.49	0.40	-1.58	Velocidade das ondas P_u (m/s)	6220
			Rocha (xisto) massa volúmica ρ (kg/m ³)	2860

* Dinis da Gama, C., *et al.*, 1999.

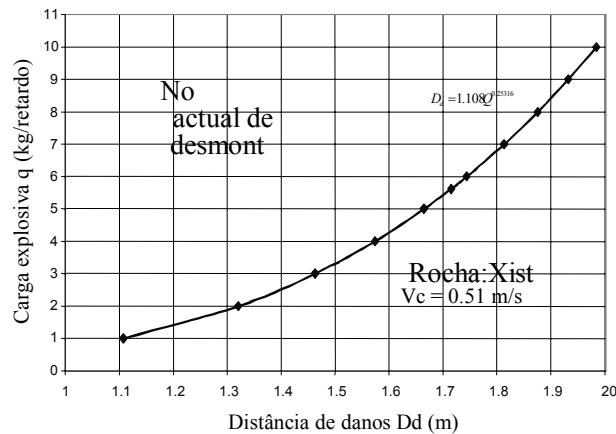


Figura 8.63 – Padrão de referência os sobre danos provocados na espessura de rocha circundante à câmara nos desmontes

8.6.2. Padrão de referência

Com os parâmetros caracterizados (Tabela 3. 68) e aplicando a equação (5.33), a velocidade crítica vibratória para o maciço xistoso é de 0.51 m/s. Aplicando a equação (5.34) os danos provocados na espessura de rocha circundante à abertura subterrânea (D_d), em função da carga explosiva (Q), encontram-se na fig. 8.63. e portanto, para as condições de operação o padrão de referência para uma carga de 5.62 kg (4 furos/retardo) é de cerca de 1.7 m.

8.6.3. Medição dos danos

Para determinar os danos provocados nos desmontes com explosivo nas câmaras do processo de exploração da mina da Panasqueira, procedeu-se à realização de medições *in situ*, utilizando o Sonic Integrity Testing (SIT) na câmara L3.D19.R-3.AW34 (fig. 8.64, entre os pontos topográfico 31 e 35) de 11 m x 5 m x 2.4 m (fig. 8.65).

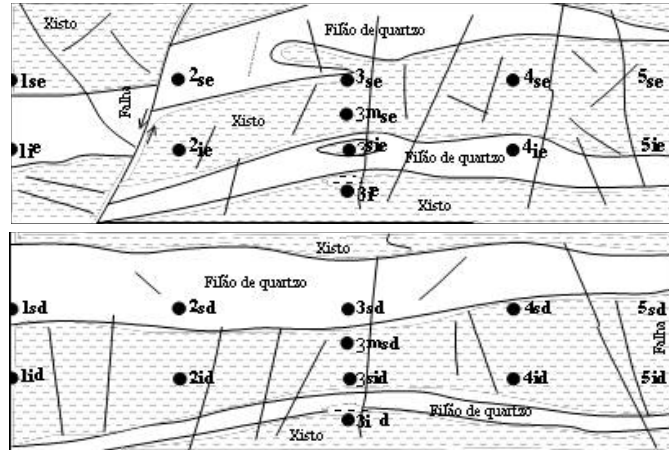


Figura 8.64 – Caracterização geoestrutural e pontos de medição com Sonic Integrity Testing nos hasteais da câmara L3.D19.R-3.AW34 (entre os pontos topográfico 31 e 35)

Os testes foram realizados com uma energia de entrada do impacte do martelo para uma distância máxima de 5 m e considerando uma velocidade de propagação da onda de 5100 m/s (Dinis da Gama, C., *et al.*, 1999).

Os resultados de 27 testes realizados deram resultados similares aos mostrados nas figuras 8.66 e 8.67.



Figura 8.65 – Medições com Sonic Integrity Testing dos danos provocados pelo explosivo nos hasteais da câmara L3.D19.R-3.AW34 (entre os pontos topográfico 31 e 35)

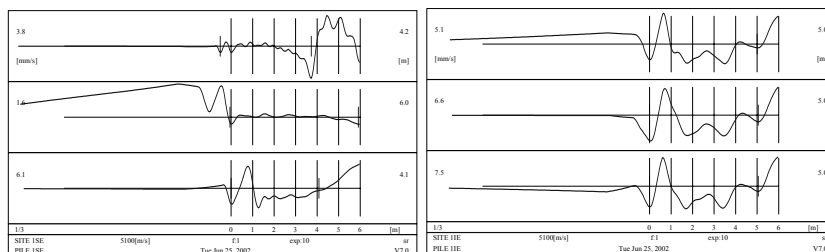


Figura 8.66 – Output SIT medidos no ponto *Ise* e no *Iie* do hasteal do lado esquerdo

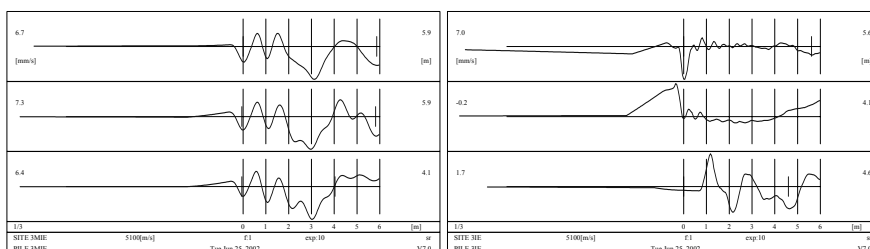


Figura 8.67 – Output SIT medidos no ponto *3mie* e no *3ie* do hasteal do lado esquerdo

Ao registos mostram que a reflexão das ondas na massa circunvizinha da rocha, foram para distâncias (ou espessuras) de 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m, 3.5 m, até 4.1 m. Portanto, é provável que as ondas reflectidas de 1.0 a 2.0 m sejam provocadas pelas fracturas criadas sob a influência dos disparos com explosivo e as correspondentes às distâncias de 3.0 m a de 4.1 m, devidas às fracturas geológicas preexistentes.

8.6.4. Identificação do risco ambiental geotécnico e medida correctiva

Comparando com o padrão de referência (1.70 m) e aceitando os resultados obtidos com a medição, pode-se concluir que existem fracturas atribuídas aos explosivos atingindo valores de 2.0 m, facto este que indica risco ambiental.

A medida correctiva para atenuar estes danos provocados ao maciço rochoso circundante à câmara, é a utilização duma carga explosiva adequada que, neste caso, deve ser, no máximo, de 5.62 kg/retardo, ou seja, deve-se detonar simultaneamente um número máximo de 4 furos .

Capítulo 9

APLICAÇÃO À MINA DE SAN RAFAEL

9.1. Introdução

A aplicação da metodologia da Engenharia Ambiental Subterrânea (EAS) proposta na primeira parte (capítulo 2 item 2.5 e fig. 2.14) e desenvolvida na segunda parte deste livro, é a mina de San Rafael, relativamente à contaminação da atmosfera subterrânea.

A aplicação da EAS na mina de San Rafael é realizada no aspecto térmico, utilizando a metodologia e modelos matemáticos desenvolvidos no item 3.1 e fig. 3.25 e, no aspecto dinâmico e volumétrico, no item 3.4 e fig. 3.47.

O procedimento é similar ao utilizado na aplicação à mina de Neves Corvo e mina da Panasqueira.

Um aspecto particular da mina de San Rafael, em comparação às duas minas de Portugal é de que esta mina está localizada nos Andes montanhosos do Peru, onde há ocorrência de água termal nos níveis mais baixos da mina.

9.2. Definição do Âmbito de Acção

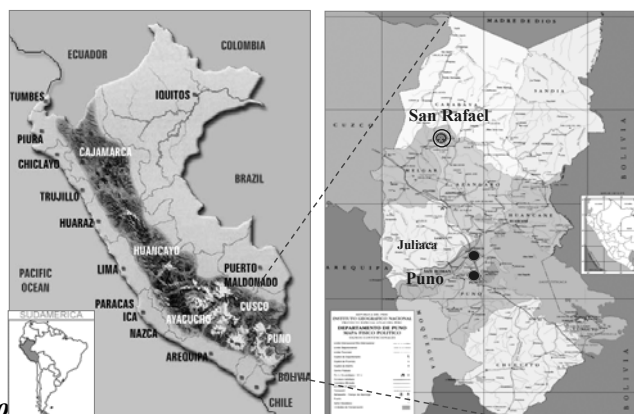
9.2.1. Localização geográfica e clima

A mina de San Rafael, propriedade da empresa peruana MINSUR S.A., está localizada a Sudoeste do nevado de *San Bartolomé de Quenamari* (5299 m), na cordilheira oriental do Sul do Peru, distrito de Antauta, Província de Melgar e Departamento de Puno, nas coordenadas 70°19' W e 14°14' S (fig. 9.1).

Esta é a única mina produtora de estanho no Peru, com produção de 2500 toneladas por dia de minério tal e qual com teor de 5.23% de estanho (Sn), atingindo 53600 toneladas acumuladas por ano e 46400 toneladas de concentrado com teor de 53.86% Sn com recuperação mineralúrgica de 89.17% (rendimento metal).

É uma das poucas minas subterrâneas que tem o processo produtivo completo, ou seja exploração, tratamento mineralúrgico e tratamento metalúrgico, produzindo portanto, estanho metálico.

4 **Figura 9.1 – Localização geográfica da mina de San Rafael**



9.2.2. Ambiente subterrâneo

9.2.2.1. Maciço rochoso e jazigo

Localmente, os filitos e quartzitos da formação *Sandia* tiveram intrusão por dois *stoks* graníticos do terciário. Nas proximidades encontram-se rochas do paleozóico superior.

Na formação *Sandia* os filitos são de cor cinzento-escuro com moscovite nos planos de clivagem. Os quartzitos estão intercalados com filitos (Palma, 1981).

Os filões e corpos mineralizados localizam-se no intrusivo de San Rafael, (fig. 9.2) têm uma direcção NE – SW, comprimento de cerca de 1000 m, largura de 300 a 800 m e profundidade máxima de 2000 m. A rocha intrusiva é de tipo granítico, com idade que varia de 0.1 a 2.5 milhões de anos, pertencente ao oligocénico e miocénico inferior (Arenas, M. 1980).

No couro mineiro de San Rafael ocorre cobre na parte superior e estanho em profundidade. A mineralização é de origem hidrotermal consistente em filões de enchimento e preenchimento de fracturas e corpos de mineral no intrusivo granítico e meta sedimentos. Os filões estão em falhas pré-minerais com direcção NW – SE.

Os corpos de mineral representam 81% das reservas e estão localizados abaixo do nível 410 onde existem 7 corpos de estanho (fig. 9.3) seguintes: Corpo *Rampa*, 150-S, 310-S, Ore *Shoot*, Corpo Brecha, corpo 250-S e corpo *Contacto*. Estes corpos possuem possança de 4 a 30 m, comprimento de 30 m a 180 m e alturas de 10 a 640 m. Em geral são de forma prismática. Os minerais principais são: cassiterite, estanhite e calcopirite.

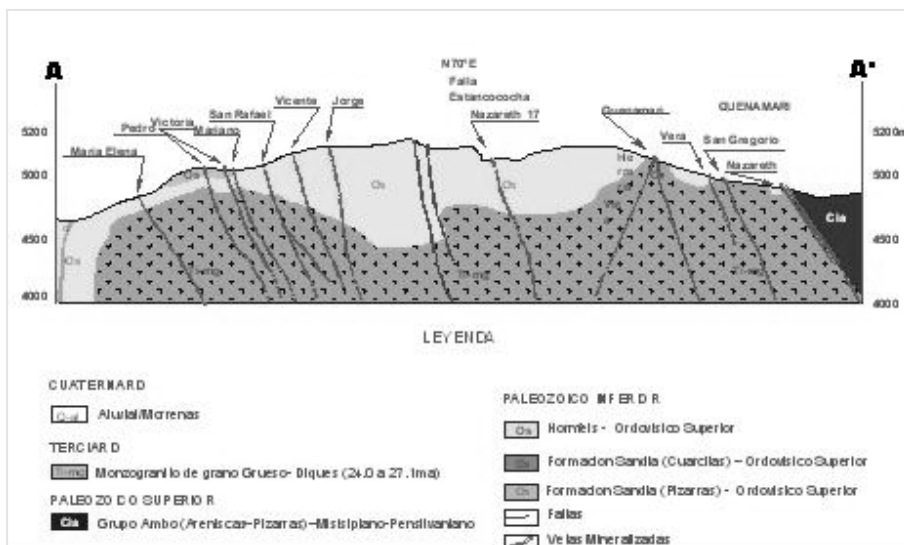


Figura 9.2 – Corte geológico e zonas de exploração do jazigo de San Rafael na direcção N 70° E (Alvarez, J. 2001)

As reservas provadas e prováveis a Dezembro de 2000 são como indicado na Tabela 9.1. O mineral de Sn distribui-se em 13.34% no filão de San Rafael, 75.94% em corpos mineralizados e 19.72% noutros filões. A mina labora com um *Cut Off* de 2.63% de Sn e 3.41% de Cu.

Tabela 9.1 – Reservas provadas e prováveis da mina San Rafael a Dezembro de 2000 (Alvarez, J., 2001)

Minério de:	TMS	% Cu	% Sn
Sn	13704655	0.16	5.32
Cu	74450	3.34	0.56
Cu — Sn	109505	2.80	1.49
TOTAL	13888610	0.20	5.27

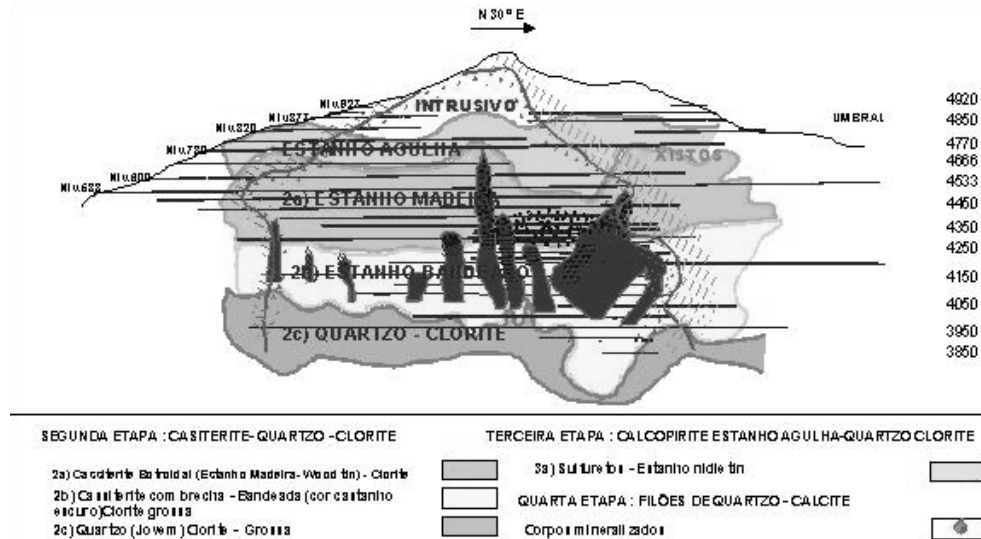


Figura 9.3 – Etapas da mineralização e corpos mineralizados no corte em direcção N 30° E (Alvarez, J., 2001)

9.2.2.2. Aberturas de infra-estrutura subterrânea

São as aberturas subterrâneas, feitas no maciço rochoso para explorar o jazigo mineral, estão localizadas entre as cotas de 3825 a 5100 m e passam a constituir o espaço da atmosfera subterrânea. As principais aberturas estão resumidas na Tabela 9.2 e na fig. 9.4.

Actualmente o acesso principal de superfície é pela rampa 4523, que aprofunda até o nível 3825, constituindo a infra-estrutura principal de transporte de mineral e estéril. Ademais na mina existem estações de bombagem de água, aberturas subterrâneas para paiol, entre outros.

Tabela 9.2 – Resumo generalizado do ambiente subterrâneo (baseado no *Plan de Ventilación Interior Mina San Rafael, 2001*)

Frete de trabalho	Níveis	Secção (m ²)	Comprim. (m)	Uso
Rampa 523	4523 a 3825	24.8	7000	Ventilação e transporte
Gal.Nív.4666	4666	13.06	230	Entrada de ar limpo
Gal.Nív.4600(Zap.)	4600	8.26	1035	Entrada e saída do ar
Gal.Nív.4600	4600	11.94	230	Entrada e saída do ar
Gal.Nív.4533	4533	9.17	1870	Entrada de ar limpo
Galerias cegas	4493 a 3825	10.00	10000	Entrada e saída do ar
Chaminés	4666 a 3850	6.80	2000	Entrada e saída do ar
Chaminé Volcan	3900 a 4927	6.00	1300	Passagem e saída de ar
Cham. e Gal. Patrón	3825 a 5100	6.00	1250	Passagem e saída de ar
Ch. EU1, Gal.EU2,	3825 a 492	6.00	1070	Passagem e saída de ar
Ch.EU3	4200 a 4750	12.16	550	Saída de ar
Chaminé Alimak				

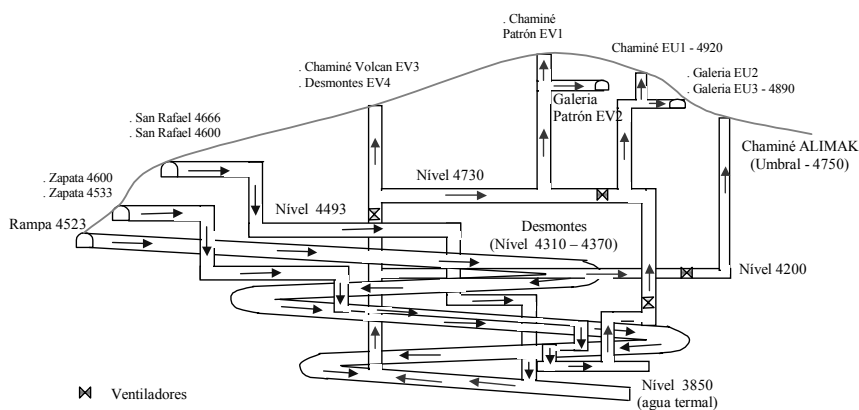


Figura 9.4 – Esquema geral das aberturas subterrâneas da mina de San Rafael

9.2.2.3. Aberturas subterrâneas geradas pela exploração

A actual mina de San Rafael teve um processo gradual de aumento da produção em mais de 50 anos de operação, acompanhado pela progressiva mudança de métodos de exploração e conseqüente nível de mecanização, facto que gerou aberturas já abandonadas e aberturas em actual serviço.

a) *Frentes de exploração antigas*: estão localizadas entre o nível 4370 ao nível 4297, são produto de explorações antigas e resultado da aplicação do método de autoenchimento temporário ou *shrinkage* convencional e mecanizado, na quase totalidade em filões. Estes espaços são de forma tabular e, actualmente ainda servem de passagem ascendente do ar poluído proveniente das frentes de exploração actual e frentes de desenvolvimento e preparação localizados entre o nível 3830 e nível 4370, com saídas à superfície pelas chaminés e galerias na zona sul.

b) *Frentes de exploração actuais*: são produto da exploração correspondente à aplicação do método de exploração de *sub level stoping* (fig. 9.5), localizadas em blocos compreendidos entre o nível 4310 e 4370.

Para atingir uma produção de 2500 t/dia de minério com teor de 5.5% de Sn, a empresa tem programado extrair 48.87% do corpo *Ore Shoot* e corpo *Brecha*, 23.42% do corpo *Contacto* e 27.71% do filão San Rafael.

A perfuração é feita com os seguintes equipamentos: 1 Simba H-1354 da Atlas Copco, 1 DTH Túnel 60 e 1 DTH Mustang A-32 (fig. 9.6.a). Os furos longos são perfurados em forma paralela ou em abanico, conforme se trate de filão ou corpo mineralizado, cuja malha é função do diâmetro da broca, possança da estrutura mineralizada.

O explosivo utilizado é ANFO (Examón) para furos secos, *slurry* (*exagel* ou *slurry* AP-80) para furos com presença de água. Os acessórios usados para os desmontes de rocha são o detonador Tecnel (Fanel) de 10 a 20 m de comprimento e retardos curtos, *booster* de 1/3 de libra (BM-150) de 1.5 polegadas de diâmetro, cordão detonante 3P e detonador comum n.º 6, conectores, cordão detonante (*igniter cord*). O factor de potência resultante varia de 0.16 a 0.20 kg/t.

Depois do desmonte primário é necessário realizar o desmonte secundário para o qual se usam *plastex* ou *examón* com dinamite *semexa* 65%.

A remoção do minério é feita com LHDs diesel e o transporte com camiões Volvo NL-12, também com motor diesel (fig. 9.6). A produção do minério e desmonte de esteril é coberta com os equipamentos indicados na Tabela 9.3.

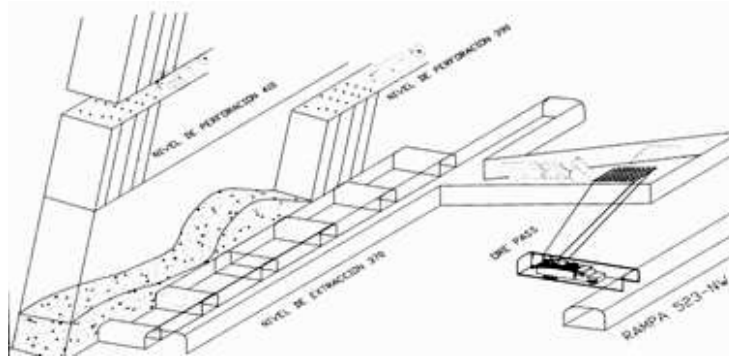


Figura 9.5 – Ambiente subterrâneo das frentes de exploração da mina de San Rafael (Guillén, L., 1997)

Para a meta de produção estabelecida (2500 t/dia ou 70000 t/mês) a produção é proveniente de 5 desmontes (88.5%) e das frentes de preparação (11.5%). Os desmontes em actual produção são T310-14N, T310-10S, T310-03S, T310-04N e T310-10S, originando aproximadamente 3500 t/dia-disparo, o que equivale a 20 disparos/mês.

Para a produção indicada precisa-se um total de 142 homens em subterrâneo, dos quais 82 são da empresa e 60 de empreiteiros. O pessoal da empresa é composto por 60 para exploração, 22 para serviços e os afectos à geologia, topografia e supervisão geral são 4, 4 e 6, respectivamente, mas sem dedicação exclusiva (Medina, E., *et al.*, 2001).

A condição crítica da presença de pessoal nas frentes de trabalho (Medina, E., *et al.*, 2000), tanto em desenvolvimento como nos desmontes, sucede em função dos

trabalhos a realizar. Em trabalhos por método convencional, que se realizam baixo do nível 4200, a condição crítica apresenta-se na operação de perfuração com 3 homens:

- Perfuração: 1 perfurador, 1 ajudante ou 2 perfuradores e 1 ajudante;
- Remoção: 1 operador de pá ou de LHD;
- Transporte: 1 operador da locomotiva e 1 ajudante.

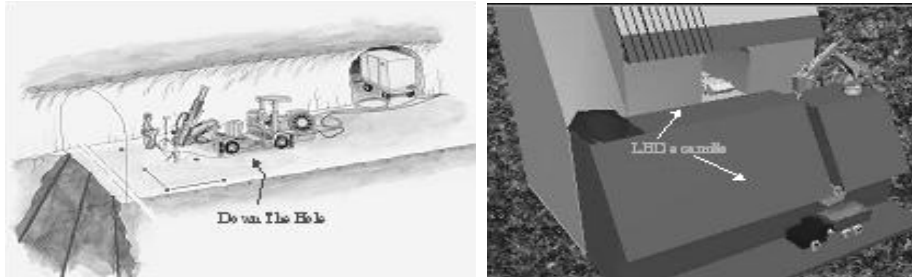


Figura 9.6 – Equipamentos de perfuração (esquerda) de remoção e transporte (direita) utilizados nos desmontes

Tabela 9.3 – Equipamentos utilizados na mina de San Rafael (Medina, E., *et al.*, 2001)

Operação mina	Equipamentos
Desenvolvimento e prospecção	. 2 Jumbo Boomer H 282 de Atlas Copco, com 75 HP (55.93 KW) . 2 LHD de 5.5. Yd ³ EJC, com 186.43 KW cada um.
Perfuração de furos longos	. 1 Simba H-1354 de Atlas Coko, cop – 1838, com 80 HP (59.66 KW) . 1 DTH Tunnel 60, Drillco Tools, Topo 3 . 1 DTH Mustang A32 de Atlas Copco, com martelo Cop – 34
Remoção nos desmontes	. 2 LHD de 6.5 yd ³ ST100 Wagner, com 250 HP (186.43 KW) cada um. . 1 LHD de 3.5 Yd ³ Wagner (reserva), com 185 HP (137.9 KW)
Redução secundária	. 4 martelos hidráulicos Kent
Transporte à superfície	. 6 Camiões Volvo Intercooler NL12, de 15 m ³ , com 410 HP (305.73 KW) cada um.
Supervisão	. 27 Carrinhas, com 89 HP (66.37 KW) cada um.

No trabalho mecanizado, a condição crítica pode suceder na operação de perfuração e carregamento com 4 homens:

- Perfuração e carregamento: 1 operador de jumbo e 2 carregadores/disparadores de fogo;
- Remoção: 1 operador do LHD;
- Transporte: 1 operador do camião de marca Volvo

Relativamente a custos, a informação obtida do Departamento da mina é de 1320 €/m de chaminé com 3.8 m de diâmetro, 250 €/m de chaminé com 1.5 m de diâmetro, 963.95 €/m de galeria com 5 m x 4 m, 592.46 €/m de galeria com 3.5 m x 3 m, 430.74

€/m de galeria com 2.4 m x 2.4 m, 1050 €/m de galeria de 6 m x 3.8 m, 320 €/m de chaminé com 2 m x 1.5 m e 40.4 €/m³ (1US\$ = 1€).

9.3. Caracterização Térmica e Dinâmica da Atmosfera Subterrânea

9.3.1. Identificação preliminar do ambiente subterrâneo

O ar entra da superfície mediante a rampa 523, para a galeria do nível 4666 (Zapata), galeria nível 4600 (Zapata), galeria do nível 4600 (San Rafael) e para a galeria nível 4533 (San Rafael), saindo (ar poluído) pela chaminé Volcán (EV3), abertura desmontes (EV4), chaminé Patrón (EV1), galeria Patrón (EV2), chaminé EU1, galeria EU2, chaminé EU3 e chaminé Alimak (Umbral). A fig. 9.4 mostra o esquema geral das entradas de ar fresco e saídas de ar poluído.

O ar da atmosfera subterrânea é accionado por sistema misto (natural e forçado). O sistema forçado usa ventiladores instalados nas frentes subterrâneas que são na sua maioria de exaustão de ar poluído. Na altura das medições (Setembro de 2001), a mina contava com 35 ventiladores cuja potência total é de 1492 KW (Tabela 9.4).

Antes das medições (*in situ*) dos parâmetros térmicos, dinâmicos e volumétricos, em gabinete procedeu-se à predefinição do sentido do ar, trechos e nós de todo o ambiente subterrâneo da mina (fig. 9.7), baseado nos mapas existentes e com participação dum pessoal experimentado da área de ventilação de minas.

As estações de medição foram identificadas em zonas adequadas de cada trecho e aproximadamente na parte média do seu comprimento.

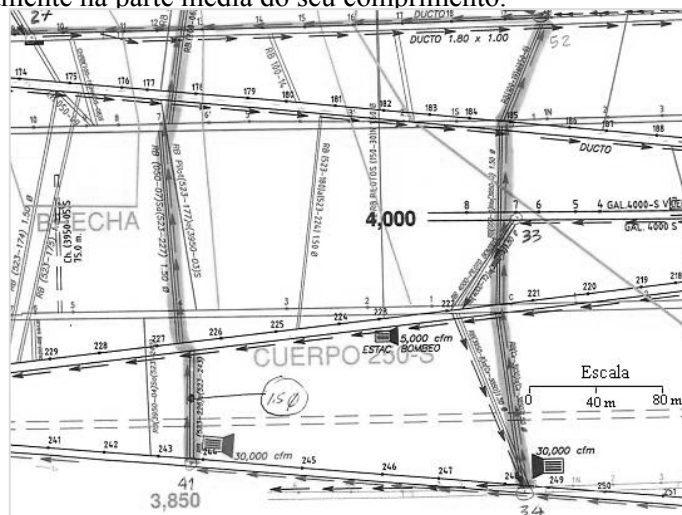


Figura 9.7 – Predefinição do sentido do escoamento de ar, trechos e nós na zona do nível 3850 em perfil N 30° E

9.3.2. Instrumentos utilizados e metodologia de medição

A caracterização do ambiente subterrâneo da mina de San Rafael foi feita utilizando os instrumentos do Laboratório de Engenharia do Ambiente Subterrâneo

L.E.A.S. da Secção de Exploração de Minas do Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa e consistiram em:

- Termo/Higrómetro Casella London Ltd, de temperatura de bolbo seco e húmido;
- Anemómetro IRFLOW LCA 6000 digital e de leitura discreta, para medição de velocidade do ar;
- Instrumentos para medição de secções das aberturas, como fita métrica de aço de 5 metros, entre outros;
- Uma calculadora portátil;
- Relógio cronómetro Timex Ironman Triathlon digital.

A metodologia utilizada foi igual às da mina de Neves Corvo e Panasqueira, dado a que esta mina possui aberturas de grandes dimensões na rampa 523 e acessos aos desmontes (similares às de Neves Corvo) e outras galerias, travessas e acessos com secção de dimensão média (similar às de Panasqueira). Também nesta mina as medições foram feitas em cinco pontos em cada estação para considerar um valor médio, tanto para a velocidade como para a temperatura.

Mediante o procedimento e instrumentos indicados, realizaram-se as medições *in situ* (fig. 9.8) cujo registo encontra-se no Anexo 9.1, que constitui o suporte para a caracterização do ambiente subterrâneo.

Tabela 9.4 – Ventiladores utilizados na mina de San Rafael (Departamento de Engenharia - Ventilação Mina San Rafael, 2001)

INVENTARIO DE VENTILADORES									
ITEM	CAPACIDAD	MARCA	POTENCIA	PRESION	NIVEL	LABOR	RESPONSABILIDAD	ESTADO	GASTO (\$)
1	100.000	JOY	300	17.2	4200		MINSUR	OPERATIVO	201.098
2	100.000	JOY	200	10.8	4533		MINSUR	OPERATIVO	134.065
3	50.000	JOY	150	10	4370		MINSUR	OPERATIVO	100.549
4	50.000	JOY	150	10	4250		MINSUR	OPERATIVO	100.549
5	50.000	JOY	125	17.2	RPA 523	214	MINSUR	OPERATIVO	83.791
6	50.000	JOY	125	10	4050	N	MINSUR	OPERATIVO	83.791
7	50.000	JOY	125	10	4050	S	MINSUR	OPERATIVO	83.791
8	50.000	JOY	100	10	TALLER		MINSUR	MANTENIM.	
9	50.000	JOY	75	8	4200	N	MINSUR	OPERATIVO	50.274
10	50.000	AIRTEC	60	6			MINSUR	OPERATIVO	40.220
11	50.000	AIRTEC	50	9.5			MINSUR	OPERATIVO	33.518
12	30.000	AIRTEC	50	9.5			AESA	OPERATIVO	33.518
13	30.000	AIRTEC	50	9.5	RPA 523	TOPE	AESA	OPERATIVO	33.518
14	30.000	JOY	30	5.1	4250	S	MINSUR	OPERATIVO	20.110
15	30.000	JOY	30	5.1	4000	N	MINSUR	OPERATIVO	20.110
16	11.000	AIRTEC	24	6.6	RPA 523			OPERATIVO	12.066
17	11.000	AIRTEC	24	6.6	4000	N		OPERATIVO	12.066
18	11.000	AIRTEC	24	6.6	4050	JORGE		OPERATIVO	12.066
19	11.000	AIRTEC	24	6.6	TALLER			MANTENIM.	
20	11.000	AIRTEC	24	6.6	4533	VILLAS J		OPERATIVO	12.066
21	11.000	AIRTEC	24	6.6	TALLER		MDH	MANTENIM.	
22	5.000	AIRTEC	15	7	4533	VILLAS J	MDH	OPERATIVO	7.541
23	5.000	AIRTEC	15	7	RPA 523		146 MDH	OPERATIVO	7.541
24	5.000	AIRTEC	15	7	RPA 523		150 MDH	OPERATIVO	7.541
25	5.000	AIRTEC	15	7	4533	S	MDH	OPERATIVO	7.541
26	5.000	AIRTEC	15	7	TALLER		AESA	MANTENIM.	
27	5.000	AIRTEC	15	7	ALMACEN		MDH	STAND BY	
28	6.900	AIRTEC	12	4.6	4200	N-63	AESA	OPERATIVO	6.033
29	6.900	AIRTEC	12	4.6	4310	S	AESA	OPERATIVO	
30	6.900	AIRTEC	12	4.6	TALLER		AESA	MANTENIM.	6.033
31	6.900	AIRTEC	10	4.6	DIAMANTINA		MDH	OPERATIVO	5.027
32	7.500	AIRTEC	10	4	4533	VILLAS J	AESA	OPERATIVO	5.027
33	30.000	ZITRON	30	12	RPA 523	TOPE	MINSUR	OPERATIVO	20.110
34	30.000	ZITRON	30	12	RPA 523		205 MINSUR	OPERATIVO	20.110
35	30.000	ZITRON	30	12	3950		1 MINSUR	OPERATIVO	20.110
	HP		2000						
	KW		1492						
	HRS / año		7488						
	GASTO /año		1.179.773	\$ USA					1.179.773
	GASTO/mes		98.314	\$ USA					98314

PRECIO 1KW/HR

0.12 \$ USA



Figura 9.8 – Rampa 523 e medições dos parâmetros aerodinâmicos da atmosfera subterrânea da mina de San Rafael

9.3.3. Caracterização térmica

9.3.3.1. Influência da temperatura exterior

Para analisar a influência da temperatura exterior no ambiente subterrâneo procedeu-se à identificação da variação da temperatura exterior, com base nos registos meteorológicos da mina San Rafael (fig. 9.9).

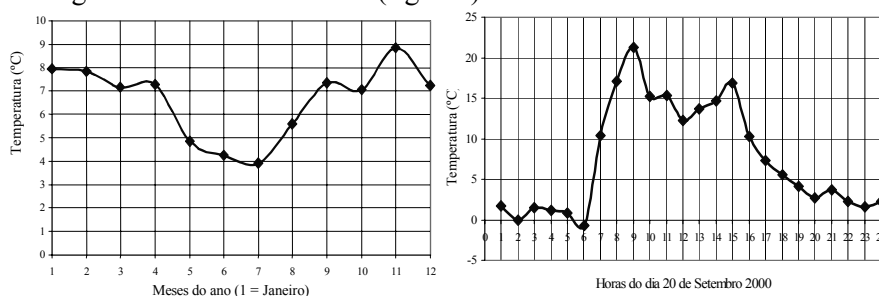


Figura 9.9 – Variação da temperatura exterior (ano 2000) e durante um dia (20 de Setembro de 2000) (baseado em registos meteorológicos da mina de San Rafael)

Nos registos meteorológicos do ano 2000 analisados, foi possível notar temperaturas médias horárias máximas de 26.3 °C no mês de Novembro e mínimas de – 9.2 °C no mês de Julho, com a particularidade de que estes valores altos e baixos são registos momentâneos, ou seja, durante tempos muito curtos. Finalmente a temperatura média anual resulta em 6.61 °C.

Aplicando a equação (3.20) a influência da temperatura exterior no ambiente subterrâneo da mina San Rafael, com um factor de 0.167, resulta uma média de 1 °C, que é praticamente insignificante.

9.3.3.2. Variação da temperatura no ambiente subterrâneo

A temperatura do ar limpo que entra ao ambiente subterrâneo da mina de San Rafael, tem a tendência de aumentar a medida que aprofunda nas aberturas. O ar do

ambiente exterior que entra pelas galerias 4666, 4600 e pela denominada rampa 523 (cota 4523) atinge as aberturas mais profundas localizadas na cota 3835, descendo uma profundidade total de 831 m, pelo que a temperatura varia 21.5 °C, à razão aproximada de 1 °C por 40 m de profundidade (fig. 9.10).

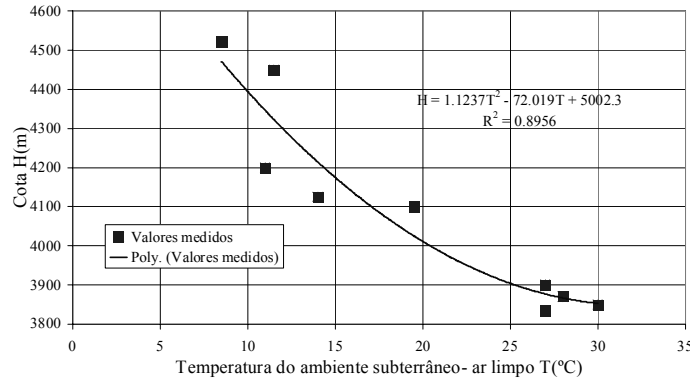


Figura 9.10 – Variação da temperatura do ar da atmosfera subterrânea no processo de entrada (baseado nas medições de Setembro do 20001)

No nível 3850 a temperatura do ar da atmosfera subterrânea sofre um brusco acréscimo, influenciado pela presença de águas termais, atingindo na zona da rampa um valor de 30 °C.

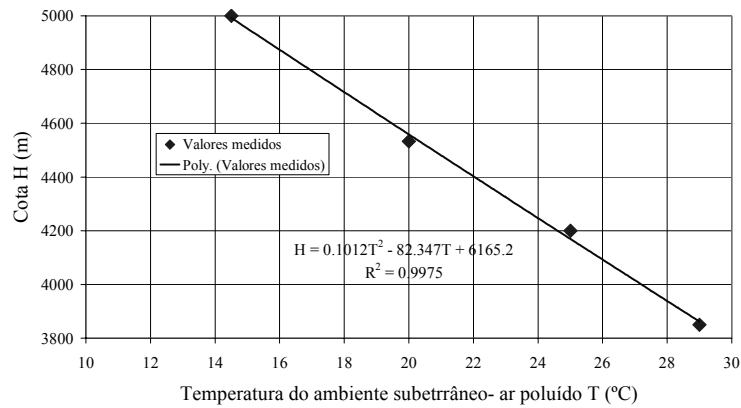


Figura 9.11 – Variação da temperatura do ar na atmosfera subterrânea no processo de saída (baseado nas medições de Setembro do 20001)

O decréscimo da temperatura no sentido da subida (saída) do ar poluído é de 30 °C (no nível 3850) a 14 °C (no exterior), fazendo um total de 16 °C para uma profundidade total de 1150 m (entre a cota 3850 e a 5000),(fig. 9.11).

9.3.3.3. Temperatura no nível 3850 influenciado por água termal

Com a finalidade de caracterizar a brusca tendência de acréscimo da temperatura do ambiente subterrâneo na zona do nível 3850, realizaram-se medições da temperatura na rampa 523 no sentido da variação da profundidade (fig. 9.12) e na galeria do nível 3850 com presença de água termal (Tabela 9.5).

A fig. 9.12 mostra dois tipos de tendência: uma linear e outra não linear. Na tendência linear verifica-se que no nível 3950 e para uma profundidade de 580 m, registando-se uma temperatura de 17 °C, resultando uma taxa de acréscimo de 1.7 °C/100 m. Não obstante, no nível 3850, para uma variação tão só de 100 m de profundidade, regista-se uma temperatura de 32 °C, resultando uma taxa de acréscimo de 15 °C/100 m, indicando uma tendência anormal, provocada evidentemente pela forte influência local da temperatura de água termal.

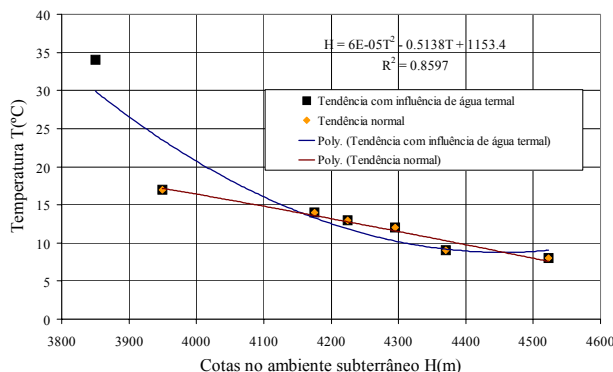


Figura 9.12 – Tendência da temperatura do ambiente subterrâneo (baseado em medições realizadas na rampa 523, Setembro 2001)

Uma previsão da temperatura do ar no nível 3850 para uma tendência normal isenta da influência de água termal e para um caudal de ar de 8 m³/s seria aproximadamente de 20 °C e não de 32 °C.

Nas medições realizadas nas frentes de desenvolvimento do nível 3850, foram registadas, na água termal, temperaturas entre 34 °C e 40 °C, e no ar da atmosfera subterrânea (8 m³/s e seccção de 15 m²) registaram-se temperaturas entre 29 °C e 34 °C (Tabela 9.5).

Comparativamente, a temperatura do ar da atmosfera subterrânea no nível 3850 para uma tendência normal era previsível estar próxima de 20 °C, porém registaram-se temperaturas maiores em média 12 °C, representando um acréscimo de 60% em relação à tendência normal.

Tabela 9.5 – Medições da temperatura de água termal na galeria do nível 3850 (Setembro 2001)

Local	Condições térmicas do ambiente			Valeta Ts (°C)	Galeria (m x m)	Observações
	Ts (°C)	Th (°C)	Hr (%)			
Frente 3850S	33	32.5	96.6	34	3.6 x 4.4	Frente paralizada
Antes da frente 3850S	29	27	85.8	36	3.2 x 5.0	Vent.ligado e água termal misturada
Junção Nv.3850 com rampa 523	32	31.5	96.5			Abertura grande por junção
Antes da frente 3850N	34	33.5	96.6	40	3.1 x 4.6	Vent. desligado

9.3.4. Caracterização dinâmica

9.3.4.1. Redes de distribuição do ar no ambiente subterrâneo

Nas medições realizadas em Setembro de 2001 foram caracterizadas três redes de circulação de ar limpo bem definidas (fig. 9.13).

Tabela 9.6 – Entradas e saídas de ar no ambiente subterrâneo

Entradas de ar (Redes principais)	Áreas de ventilação	Saída de ar poluído
Rampa 523	Rampa de transporte (523) até o nível 3900, Desmontes (entre os níveis 4310 a 4370)	Desmontes EV4, Chaminés EV3, EV1, EU1, EU2, EU3 e Alimak
Zapata (boca da mina 4533 e 4600)	Fundo da rampa 523 e nível 3850	Desmontes EV4, Chaminés EV3, EV1, EU1, EU2, EU3 e Alimak
San Rafael (Bocas da mina 4600 e 4666)	Frentes de trabalho do nível 3950	Chaminé Alimak

Estas redes, que são as denominadas *Rampa 523*, *Zapata* (4600 e 4533) e *San Rafael* (4600 e 4666), destinam-se a ventilar áreas definidas e com saídas de ar poluído, conforme indicado na Tabela 9.6.

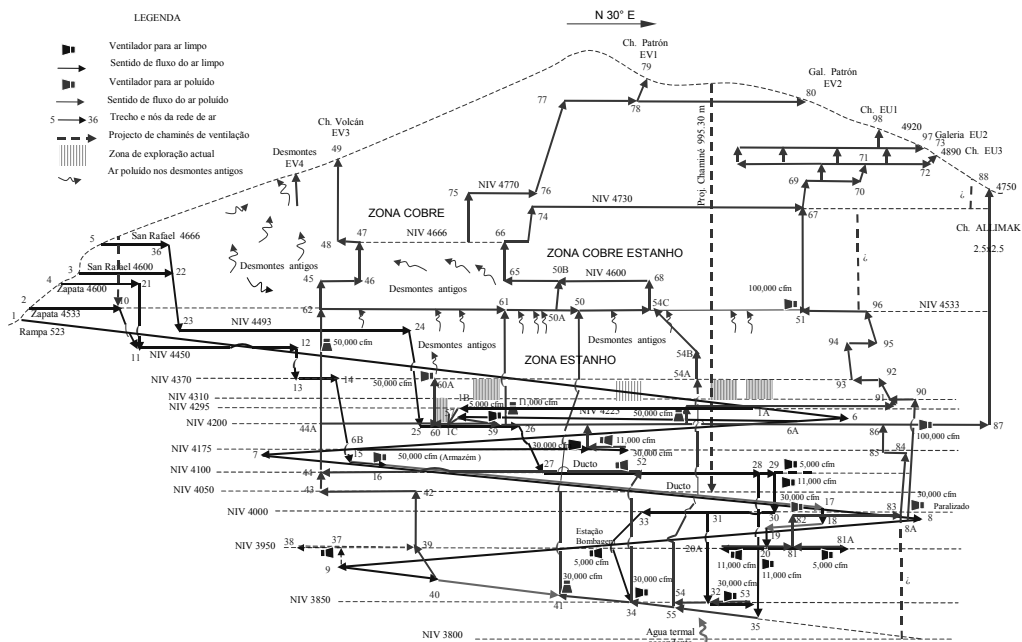


Figura 9.13 – Redes de ar no ambiente subterrâneo da mina San Rafael, caracterizadas em Setembro de 2001

9.3.4.2. Caracterização de situação dinâmica e volumétrica

O comportamento dinâmico (velocidade) e volumétrico (caudal) do ar no ambiente subterrâneo caracterizado na altura das medições (Setembro de 2001) ilustra-se na fig. 9.14 e na fig. 9.15, onde, em termos gerais, não existe maior risco ambiental devido à velocidade e caudal de ar em relação ao contemplado pela norma legal peruana.

O balanço global do ar no ambiente subterrâneo, baseado nas medições realizadas em Setembro de 2001 e complementadas com medições do departamento de ventilação de minas da mina de San Rafael, resulta $154.60 \text{ m}^3/\text{s}$ de entrada de ar limpo e $142.82 \text{ m}^3/\text{s}$ saída de ar poluído (Tabela 9.7), esta diferença é possível devido ao facto de que os caudais de saída são os medidos no mês de Maio que é uma época de baixas temperaturas.

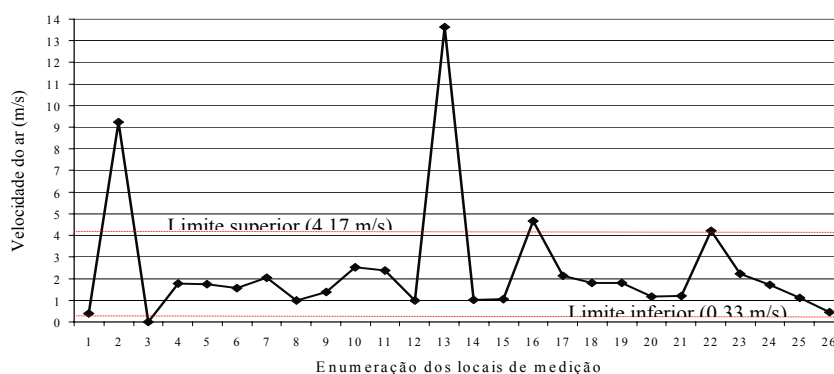


Figura 9.14 – Variação da velocidade do ar no ambiente subterrâneo e limites definidos pela Norma Peruana (Setembro de 2001)

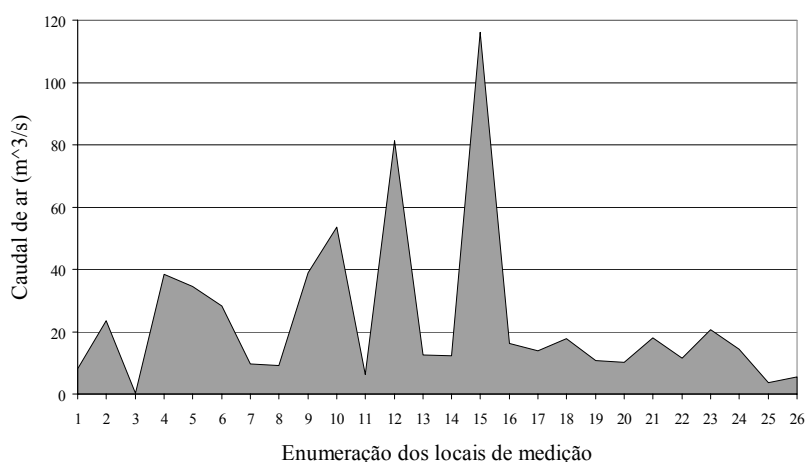


Figura 9.15 – Variação do caudal do ar no ambiente subterrâneo (Setembro de 2001)

Tabela 9.7 – Balanço do ar do ambiente subterrâneo na mina de San Rafael

Entrada		Saída	
Local	Caudal (m ³ /s)	Local	Caudal (m ³ /s)
Galeria 4666 San Rafael	14.37	Chaminé 4920 EU1	12.17*
Galeria 4600 San Rafael	20.54	Galeria 4890 EU2	20.58*
Galeria 4600 Zapata	3.63	Chaminé 4850 EU3	25.88*
Galeria 4533 Zapata		Chaminé Alimak EU5	45.46*
Rampa 523	116.06	Chaminé Patrón EV1	3.97*
		Galeria Patrón EV2	5.48
		Chaminé Volcán EV3	16.22*
		Desmontes antigos EV4	12.52*
Total	154.60	Total	142.82

* Registos do Departamento de Engenharia (Ventilação) Mina San Rafael 30/05/2001

9.3.4.3. Referência de custos

Os custos de operação, na altura da caracterização do sistema (Tabela 9.8), estão relacionados com a potência total de ventiladores de 2000 HP (1492 KW) e custo de 0.12 €/kWh (Tabela 9.4), resultando 0.00028236 € por um (1) m³ de ar na atmosfera subterrânea.

Tabela 9.8 – Custo de operação e custo unitário do sistema de ventilação

Custo de operação anual (€/ano)	Custo unitário ar mina (€/m ³ ar)
1179773.00	0.00028236

9.4. Identificação do Risco Ambiental Térmico, Dinâmico E Volumétrico

9.4.1. Matriz base para a identificação do risco ambiental

Aplicando a norma peruana, que define valores admissíveis de temperatura indicadas no item 3.2.3 (Tabela 3.7) e de velocidade e caudal de ar indicadas no item 3.4.4 (Tabela 3.50), da segunda parte do livro, a matriz base para a identificação do nível de impacte ambiental térmico, dinâmico e volumétrico encontra-se na Tabela 9.9.

Tabela 9.9 – Matriz base dos níveis de impacte ambiental térmico, dinâmico e volumétrico

TIPO DE IMPACTE	NÍVEIS DE IMPACTE AMBIENTAL		
	Leve ∇	Moderado ⊗	Alto ◆
Térmico (°C) - Temperatura efectiva T _e	30 < T _e ≤ 31	31 < T _e ≤ 32	T _e > 32
Dinâmico (m/s) V	0.33 > V ≥ 0.25 4.17 < V ≤ 5.17	0.25 > V ≥ 0.20 5.17 < V ≤ 6.17	V < 0.20 V > 6.17
Volumétrico (m ³ /s) Q	q* > Q ≥ 0.9q*	0.9q* > Q ≥ 0.7q*	Q < 0.7q*

* q : volume de ar permitido pela norma legal

O caudal mínimo, q (m³/s), indicado na Tabela 9.9, é calculado aplicando a equação (3.73) em função de valor limite admissível do caudal, o número de homens e o valor limite admissível para equipamentos com motor diesel.

9.4.2. Identificação do impacte ambiental

Para identificar o impacte ambiental térmico e dinâmico é necessário considerar a identificação da localização do pessoal e equipamentos com motor diesel nas frentes de trabalho subterrâneo, considerando as condições críticas que se apresentam em alguns momentos da operação diária, como é indicado na Tabela 9.10, resultando o requerimento mínimo permissível apresentado na Tabela 9.11.

Com estes critérios estabelecidos e baseados nas medições realizados em Setembro 2001 (Anexo 9.1) elabora-se a matriz de impacte ambiental térmico, dinâmico e volumétrico (Tabela 9.12).

A matriz de impacte ambiental indica que, na atmosfera subterrânea da mina de San Rafael, existe impacte ambiental térmico leve e o impacte ambiental dinâmico e volumétrico são de moderado a alto.

Nomeadamente, no fundo da rampa 523 existe um alto impacte ambiental dinâmico e volumétrico, indicando que os circuitos de *Zapata e San Rafael* não permitem a entrada do ar limpo em caudal necessário e suficiente.

Nas condições de operação de Setembro de 2001, onde a zona de exploração está centrada acima do nível 4310, não existe impacte ambiental térmico nem volumétrico no trecho inicial da rampa (trecho 1-6 da fig. 9.13), mas a velocidade do ar é ligeiramente superior à admissível pela norma peruana.

Tabela 9.10 – Condições desfavoráveis momentâneas e simultâneas na operação mineira diária (Medina E., 2000)

Circuito do ar	Condições críticas nas operações	
	Homens (incluindo operadores dos equipamentos)	Equipamentos com motor diesel
Rampa 523	. 37 Homens em frentes . 10 Homens em outros trabalhos	. 3 Camiões Volvo Intercooler NL-12 . 5 Carrinhas para supervisão . 1 LHDs de 6.5 Yd ³
Zapata	. 8 Homens em frentes (2 frentes num nível) . 2 Homens em outros trabalhos	. 1 Jumbos Boomer H-282 . 1 LHD de 5.5 Yd ³
San Rafael	. 8 Homens em frentes (2 frentes) . 2 Homens em outros trabalhos	. 1 Jumbo Boomer H-282 . 1 LHD de 5.5 Yd ³
Desmontes	. 4 Homens	. 1 Simba H-1354 . 1 Camião Volvo Intercooler NL-12 . 1 LHD de 6.5 Yd ³

Tabela 9.11 – Caudal mínimo de ar limpo admissível para os circuitos e desmontes (baseado na Tabela 9.10)

Circuito/desmonte	Homens		Equipamentos diesel		q(m ³ /s)
	Quantidade de homens(N)	q _{VLA-N} (m ³ /s)	P _m (HP)	q _{VLA_m-P_m} (m ³ /s)	
Rampa 523	47	4.70	1925	96.25	100.95
Zapata - Frentes	10	1.0	325	16.25	17.25
San Rafael -Frentes	10	1.0	325	16.25	17.25
Desmontes	4	0.40	740	37.00	37.40

Nota-se claramente que o caudal de ar que entra pela rampa 523 (116.06 m³/s no trecho 1-6) reduz-se drasticamente para os trechos seguintes (38.93 m³/s no trecho 6-7).

Este facto indica que um caudal de 77.13 m³/s de ar limpo entra nos *desmontes em actual exploração*, que é superior ao mínimo requerido (37.40 m³/s), indicando isto que não existe risco ambiental nestas áreas de trabalho.

Tabela 9.12 – Matriz de impacte ambiental da atmosfera subterrânea da mina de San Rafael

FRENTE	EST	TRECHO		SEC	VEL.	CAUDAL		TEMPERATURA			NÍVEIS DE IMPACTE AMBIENTAL			OBSERVAÇÕES
		de	a			m2	m/s	m3/s	Ts(°C)	Th(°C)	Te(°C)	Térmico	Dinâmico		Volumétrico
523-254	1	35	55	20.8	0.39	8.11	27	22	23.11					Homens
RB(Cx 3950)	2	34	52	2.54	9.25	23.50	31	30	21.05					Chaminé, não interessa
RB(Cx 3850)	3	33	34	2.54	0	0.00	32	31	31.3					Chaminé, não interessa
523-243	4	34	41	22.5	0.01	0.23	30	29	29.29	⊕				Homens(frente)
523-239	5	40	41	21.4	1.79	38.31	28	27	25.51					Homens (frente)
523-236	6	9	40	19.9	1.74	34.63	27	26	24.56					Homens(frente)
100-27N	7	27	28	17.84	1.58	28.19	19.5	16.5	15.82					Homens(frente)
100-27N	8	28	29	4.72	2.05	9.68	18.5	16.5	15.05					Homens(frente)
Cx-125	9	15	16	9.24	0.98	9.06	14	12.5	11.97					Não há pres. Homens
523-Niv 150 +20m	10	6	7	27.81	1.4	38.93	16.5	15	14.05					Homens(á zonas deserv)
200-S(Cx San Rafael)	11	25	26	10.0	2.54	25.40	11	10.5	8.11					Ar poluído, não interessa
200-22-N	12	59	86	22.65	2.37	53.68	24	23.5	21.28					Ar poluído, não interessa
200-22-N	13	59A	86	6.51	0.98	6.38	24.5	24	23.17					Ar poluído, não interessa
200-3	14	86	87	5.96	13.65	81.35	25	24.5	11					Ar poluído, não interessa
450-N	15	11	12	12.5	1.01	12.63	11.5	11	10.14					Homens(frente)
450-N	16	11	12	11.51	1.06	12.20	6.5	5.5	4.74					Homens(frente)
523-02	17	1	6	24.8	4.68	116.06	8.5	8	3.47					Homens(rolagem)
533-120-N	18	54C	51	7.57	2.13	16.12	19	18.5	16.52					Ar poluído, não interessa
533-125N	19	96	51	7.63	1.81	13.81	20	19.5	17.84					Ar poluído, não interessa
533-117N	20	54C	51	9.88	1.81	17.88	19.5	19	17.34					Ar poluído, não interessa
533-102N	21	50	54C	9.12	1.17	10.67	20	19.5	18.48					Ar poluído, não interessa
533-98N	22	50A	50	8.42	1.21	10.19	20	19.5	18.44					Ar poluído, não interessa
533-88N	23	61	50A	4.28	4.22	18.06	20	19.5	15.43					Ar poluído, não interessa
533-71N	24	62	61	5.13	2.24	11.49	20	19.5	17.41					Ar poluído, não interessa
600 San Rafael	25	4	21	11.94	1.72	20.54	9	7	5.88					Não há pres. Homens
666 San Rafael	26	5	36	13.06	1.1	14.37	9	7	6.5					Não há pres. Homens
Zapata	27	3	22	8.26	0.44	3.63	6.5	6	5.71					Não há pres. Homens
A chaminé está em processo de alargamento						0.00			0					Ar poluído, não interessa
Gal. Patron EV2	28				4	1.37	5.48	14.5	14	12.78				Ar poluído, não interessa
Ch. Volcan EV3						0.00			0					Ar poluído, não interessa
Ch. Patron EV1						0.00			0					Ar poluído, não interessa
Ch. Alimak EU5						0.00			0					Ar poluído, não interessa
Tajeos EV4						0.00			0					Ar poluído, não interessa
Ch. 4850 EU3						0.00			0					Ar poluído, não interessa
Gal. 4890 EU3						0.00			0					Ar poluído, não interessa
Ch.4920 EU1						0.00			0					Ar poluído, não interessa
▼	Leve						⊕	Moderado						Alto

9.5. Alternativas de Mitigação do Risco Ambiental Térmico, Dinâmico e Volumétrico

9.5.1. Análise da fonte de poluição térmica

a) *Temperatura do maciço rochoso*: para determinar a influência da transferência de calor do maciço rochosos ao ar da atmosfera subterrânea aplica-se a equação (3.6) derivando-se o grau geotérmico (g_g), resultando a equação a seguir:

$$g_g = \frac{\lambda PL(h_1 - h_{tcn} \pm Lsen\alpha)}{\Delta t_r (\lambda PL + 2000\rho_a C_e Q)}$$

O coeficiente de transferência de calor λ é calculada com a equação (3.8), a relação de Dittus e Boelter Nu_d com a equação (3.9) e o *número de Reynolds* com a equação $Re_d = V.d/\mu$, cujos detalhes se encontram no item 3.2.2.2 da segunda parte.

Para determinar o grau geotérmico é necessário conhecer o acréscimo gerado pela temperatura da rocha virgem (Δt_r), que é possível determinar mediante um balanço de acréscimos gerados pelas diferentes fontes de calor aplicando a equação (3.15).

b) *Transferência de calor produzido por os equipamentos*: aplicando a equação (3.10), com um factor combinado de conversão da energia mecânica e da utilização do equipamento com o valor de 0.032, para os equipamentos indicados na Tabela 9.3, o acréscimo da temperatura Δt_{ed} no ar que flui pela rampa 523 é de 0.85 °C.

c) *Transferência de calor pela detonação de explosivos Δt_{ex}* , é calculado usando a equação (3.11), para um gasto máximo diário de ANFO de 120 kg, resultando um acréscimo de temperatura de 0.52 °C.

d) *Temperatura da água termal (Δt_{at})*: a caracterização da influência no acréscimo da temperatura do ar nas aberturas subterrâneas do nível 3850 provocadas por água termal, feita em Setembro de 2001, permitiu exprimir este valor correspondente a 12 °C.

A influência do metabolismo humano no acréscimo da temperatura do ar no fundo da mina é insignificante, pelo facto de trabalhar em pequena quantidade, portanto considera-se desprezável.

A análise das temperaturas feita nos item b), c) e d) dão um total parcial (sem considerar Δt_r) de 13.34 °C; mas o Δt_{total} é de 26 °C (34 °C – 8 °C) e com a equação (3.15) o valor de Δt_r resulta 12.66 °C.

Com este último valor e com os parâmetros das propriedades do ar (Tabela 3.2) e as seguintes condições físicas das aberturas subterrâneas: $K = 0.0248056 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$, $d = 4.5 \text{ m}$, $f = 0.0046 \text{ kg/m}^3$, $V = 0.39 \text{ m/s}$, $\mu = 14.07 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $Pr = 0.710$, $P = 18 \text{ m}$, $L = 7000 \text{ m}$, $h_1 = 30 \text{ m}$, $h_{icn} = 30 \text{ m}$, $\alpha = 7^\circ$, $Q = 8.11 \text{ m}^3/\text{s}$, $\rho_a = 1.26614 \text{ kg/m}^3$ e $C_e = 1.0056 \text{ KJ/kg} \cdot \text{°C}$, aplicando a equação deduzida da equação (3.6), o grau geotérmico do maciço rochoso resulta:

$$g_g = 65 \text{ m/°C} \text{ ou } g_g = 1.54 \text{ °C/100m}$$

Com este resultado e com a temperatura exterior média anual de 6.61 °C, a tendência do grau geotérmico da mina San Rafael, no nível 3850, é de 16.70 °C (fig. 9.16 esquerda) e, comparando com a tendência da temperatura registada na rampa 523, observa-se uma semelhança.

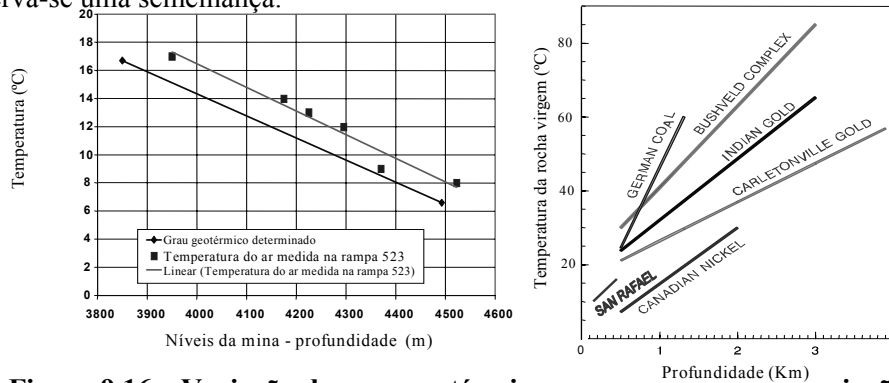


Figura 9.16 – Variação do grau geotérmico comparando com a variação da temperatura sem influência de água termal (esquerda) e comparando com outras minas do mundo (direita)

O grau geotérmico medido em outras minas do mundo, referidas por Hartman, 1982 (fig. 9.16 direita) apresenta valores semelhantes, pelo que o resultado obtido é fiável.

Com o valor do grau geotérmico determinado e aplicando a equação (3.2) a condutividade térmica do maciço rochoso da mina San Rafael é de 3.25 W/m°C.

9.5.2. Cálculo da quantidade de ar necessário

Com base no artigo 204 do Regulamento de Seguridad e Higiene Minera do Peru e condições operacionais da mina de San Rafael, o caudal mínimo resulta como o indicado na Tabela 9.13.

Baseado na equação (3.16) e complementados pelas equações (3.1), (3.6), (3.10) e (3.11), (3.9), o acréscimo da temperatura pelo calor da água termal, os parâmetros físicos e do ar da atmosfera subterrânea (Tabela 3.2), a equação particular que relaciona a temperatura ambiental T_c (autocompressão (3.1), rocha virgem (3.6), equipamentos diesel (3.10), explosivo (3.11), água termal(medido), metabolismo humano (3.12)) com caudal de ar limpo expresso em m^3/s (Q_t) para a mina San Rafael, resulta:

$$T_c = 25.31 + \frac{1}{0.053 + 0.00384Q_t} + \frac{27.80}{Q_t}$$

Tabela 9.13 – Quantidade de ar mínimo estimado para o ambiente subterrâneo da mina de San Rafael

Descrição da área	Q mín. (m^3/s)
a). Rampa 523 até o Nível 4310 . Homens: máximo 47 homens (47 x 0.10 = 4.7) . Equipamentos diesel (poeiras e gases): 1925 hp potência (1925 x 0.05= 96.25)	100.95
b). No fundo da rampa 523 no Nível 3850 (por cada frente de trabalho) . Homens: máximo 10 homens (10 x 0.10 = 1.0) . Equipamentos diesel (poeiras e gases): 323 hp potência (323 x 0.05= 16.15) . Conforto térmico calculado na página seguinte: (=30.00)*	30.00**
c) Desmontes (máximo 3 desmontes simultaneamente em operação) . Homens: máximo 4 homens (4 x 0.10 = 0.40) . Equipamentos diesel (poeiras e gases): 740 potência (740 x 0.05 = 37)	111.12 212.02
Total mina	

* O conforto térmico requiere maior caudal que os homens mais equipamentos

** O caudal calculado em b) é fracção do caudal calculado em a)

Baseado nesta equação, modelou-se a tendência da temperatura do ambiente subterrâneo em função do caudal de ar limpo, utilizando o programa EXCEL 2000, pela sua simplicidade, dando como resultado o ilustrado na fig. 9.17, onde se vê que a temperatura de conforto (20 °C a 29 °C -J.K. Kreide 2000), para a Mina de San Rafael, será possível com caudal de ar limpo mínimo de 10 m^3/s (29 °C) e com caudal de 30 m^3/s (26.5 °C).

Outra conclusão é de que nesta mina e para as zonas próximas a cota 3850 não é necessário pensar num possível sistema de refrigeração devido à presença da água termal.

É interessante observar a tendência assintótica do resultado da simulação, pelo que um aumento de caudal de ar nas frentes da zona do nível 3850 com pouca influência na diminuição na temperatura do ambiente subterrâneo, sendo claro que caudais de 100 m³/s permitem obter temperatura próximo a 26 °C.

Exemplificando, o aumento do caudal de 30 m³/s para 100 m³/s dará origem a uma diminuição de 26.5 °C para cerca de 26 °C.

Finalmente, a quantidade mínima de ar calculada para esta mina, incluindo o caudal de ar para obter o conforto ambiental, no nível 3850, devido á temperatura ocasionada pelas fontes analisadas e em particular pela presença de água termal (Tabela 9.13), perfaz um total de 212.02 m³/s.

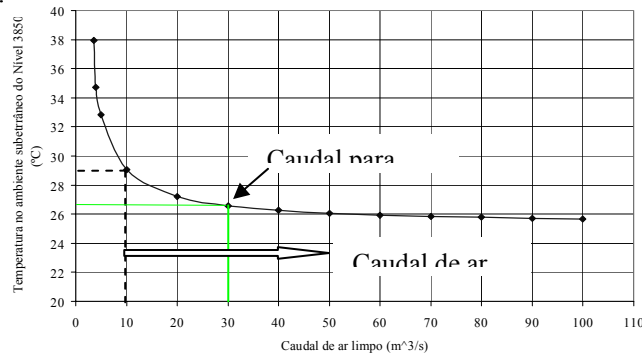


Figura 9.17 – Conforto térmico no fundo da rampa 523 e galeria do Nível 3850 da mina de San Rafael

9.5.3. Modelização do sistema de ar no ambiente subterrâneo

O programa utilizado é o VnetPC2000 de Mine Ventilation Services, Inc de E.U.A. Os parâmetros de entrada (*input parameters*), para o modelo de ventilação simplificado, incluem 164 trechos (locais) e 134 nós, para as alternativas seleccionadas. Para cada trecho do ambiente subterrâneo foi necessário saber a secção, o perímetro, o comprimento real, o comprimento equivalente (Tabela 3.47) e o factor de fricção (Tabela 3.46). Visto que não foi possível obter as curvas características dos ventiladores existentes na mina, considerou-se como *input* do ventilador o caudal de ar (*fixed quantity*). Finalmente, o parâmetro económico utilizado foi custo de 0.12 €/kWh.

Os critérios considerados foram:

Simular o circuito de ar subterrâneo para as condições físicas, dinâmicas e térmicas caracterizadas no mês de Setembro do 2001, tendo-se obtido um resultado satisfatório.

Baseado neste referencial que representa a condição existente, procedeu-se à realização de várias simulações para duas condições básicas: uma sem considerar a integração da nova chaminé (995.30 m e 3.82 m de diâmetro), e outra integrando-a no circuito de ar. Os resultados das alternativas que apresentam melhores condições estão nas Tabelas 9.14, 9.15, 9.16 e 9.17 e o resultado da simulação da melhor alternativa no Anexo 9.2.

Tabela 9.14 – Alternativa 1: simulação nas condições existentes e com ventilador de 100000 cfm em vez do ventilador de 30000 cfm no nível 3850 (não considera a chaminé nova)

Entrada		Saída	
Local	Caudal (m ³ /s)	Local	Caudal (m ³ /s)
Rampa 523	116.06	Chaminé <i>Alimak</i> EU5	47.20
Boca da mina <i>Zapata</i> 4533	7.90	Chaminé <i>Volcán</i> EV3	39.84
Boca da mina <i>Zapata</i> 4600	7.95	Desmontes antigos EV4	29.98
Boca da mina <i>San Rafael</i> 4600	41.71	Chaminé <i>Patrón</i> EV1	5.96
Boca da mina <i>San Rafael</i> 4666	33.81	Galeria <i>Patrón</i> EV2	8.73
		Chaminé 4850 EU3	30.56
		Galeria 4890 EU2	24.68
		Chaminé 4920 EU1	18.79
Total	207.43	Total	207.43

As alternativas 1 e 3 cumprem com o ar mínimo requerido (30 m³/s) para conforto ambiental no nível 3850 (47.20 e 47.20 m³/s para 30 m³/s) mas não conseguem obter o caudal mínimo total requerido para a mina (205.74 e 207.43 m³/s para 212.02 m³/s).

Tabela 9.15 – Alternativa 2: simulação nas condições existentes e com 1 ventilador de 105 m³/s (222457.63 cfm) na galeria 4100 no circuito de San Rafael antes das chaminés que ligam 4100 com 3850 e eliminando os 3 ventiladores de 30000 cfm instalados para a zona do 3850 (não considera a chaminé nova)

Entrada		Saída	
Local	Caudal (m ³ /s)	Local	Caudal (m ³ /s)
Rampa 523	116.06	Chaminé <i>Alimak</i> EU5	47.20
Boca da mina <i>Zapata</i> 4533	6.21	Chaminé <i>Volcán</i> EV3	47.44
Boca da mina <i>Zapata</i> 4600	7.95	Desmontes antigos EV4	35.69
Boca da mina <i>San Rafael</i> 4600	57.99	Chaminé <i>Patrón</i> EV1	7.12
Boca da mina <i>San Rafael</i> 4666	47.01	Galeria <i>Patrón</i> EV2	10.42
		Chaminé 4850 EU3	36.06
		Galeria 4890 EU2	29.12
		Chaminé 4920 EU1	22.17
Total	235.22	Total	235.22

Para a alternativa 4 existem no mercado ventiladores de diversas marcas, como por exemplo Zitron ZVN 1-23-360/6.

Tabela 9.16 – Alternativa 3: simulação nas condições existentes e com ventilador de 100000 cfm em vez do ventilador de 30000 cfm no nível 3850 (considera a chaminé nova)

Entrada		Saída	
Local	Caudal (m ³ /s)	Local	Caudal (m ³ /s)
Rampa 523	116.06	Chaminé Alimak EU5	47.20
Boca da mina Zapata 4533	6.21	Chaminé Volcán EV3	39.84
Boca da mina Zapata 4600	7.95	Desmontes antigos EV4	29.98
Boca da mina San Rafael 4600	4.78	Chaminé Patrón EV1	5.96
Boca da mina San Rafael 4666	3.87	Galeria Patrón EV2	8.73
Chaminé de desfogue (200-22)N	66.74	Chaminé 4850 EU3	30.56
		Galeria 4890 EU2	24.68
		Chaminé 4920 EU1	18.79
Total	205.74	Total	205.74

As alternativas 2 e 4 cumprem com ar mínimo requerido para o conforto ambiental no nível 3850 (30.51 e 30.71 m³/s para 30 m³/s) e também com o caudal total mínimo requerido para a mina (235.22 e 235.22 m³/s).

Entre a alternativa 2 e 4 a melhor é a alternativa 4 devido a que seu custo de operação ser menor.

Tabela 9.17 – Alternativa 4: simulação nas condições existentes e com 1 ventilador de 105 m³/s (222457.63 cfm) na galeria 4100 no circuito de San Rafael antes das chaminés que ligam 4100 com 3850 e eliminando os 3 ventiladores de 30000 cfm instalados para a zona do 3850 (considera a chaminé nova)

Entrada		Saída	
Local	Caudal (m ³ /s)	Local	Caudal (m ³ /s)
Rampa 523	116.06	Chaminé Alimak EU5	47.20
Boca da mina Zapata 4533	6.21	Chaminé Volcán EV3	47.44
Boca da mina Zapata 4600	7.95	Desmontes antigos EV4	35.69
Boca da mina San Rafael 4600	6.64	Chaminé Patrón EV1	7.14
Boca da mina San Rafael 4666	5.38	Galeria Patrón EV2	10.42
Chaminé de desfogue (200-22) N	92.98	Chaminé 4850 EU3	36.06
		Galeria 4890 EU2	29.12
		Chaminé 4920 EU1	22.17
Total	235.22	Total	235.22

Na parte da viabilidade económica, a alternativa 4 precisa um investimento próximo de 961139.99 €, calculado com base nas informações proporcionadas pelo departamento de planeamento da mina de San Rafael (Medina, E., 2001), distribuído da forma a seguir:

- Construção da chaminé nova (995.30 m com diâmetro de 3.82 m): 1476169.20 €;
- Custo de 1 ventilador de 105 m³/s (222457.63 cfm) (Zitron ZVN 1-23-360/6): 300000.00 €.

Em relação aos custos de energia, a alternativa 4 implica a instalação dum ventilador (Zitron ZVN 1-23-360/6) com uma potência de 360 KW e desinstalação de três ventiladores de 30000 cfm (14.16 m³/s) que correspondem a 150 KW (Tabela 9.4).

Com estas informações a potência instalada de ventiladores é de um total de 1702 KW, calculado com base ao total indicado na Tabela 9.4 e com 0.12 €/kWh obtém-se o custo comparativo entre o custo no momento da caracterização e a melhor alternativa (Tabela 9.18).

Tabela 9.18 – Custo de operação unitária comparativa entre a Alternativa 4 e nas condições caracterizadas em Setembro de 2001

Condição	Potência instalada (KW)	Caudal total (m ³ /s)	Custo de operação (m ³ de ar/€)
Setembro 2001	1492	154.60	2736.19
Alternativa 4	1702	235.22	3828.48

O investimento da alternativa 4 é de 1776169.2 €, mas produz uma redução dos custos operacionais de 27.83% em relação à condição inicial, embora o investimento na construção da chaminé seja alto.

QUARTA PARTE

APLICAÇÃO A NOVOS PROJECTOS E SISTEMAS DE GESTÃO AMBIENTAL SUBTERRÂNEA

Capítulo 10

ANÁLISE DE CASOS ESTUDADOS

10.1. Introdução

Neste capítulo analisa-se o resultado da aplicação, a duas minas portuguesas e uma mina peruana, da engenharia ambiental subterrânea (EAS) proposta na primeira parte e desenvolvida na segunda parte desse livro. O objectivo é realizar uma análise comparativa dos resultados obtidos em cada mina, no domínio dos componentes ambientais ar, água e rocha, visando obter conclusões que constituam contribuições para o desenvolvimento de novos projectos, relacionados com o ambiente subterrâneo.

10.2. Localização e Informações Gerais Das Três Minas

A localização e as características gerais das minas de Neves Corvo, Panasqueira e San Rafael, em que foram realizados estudos de aplicação, estão apresentadas na Tabela 10.1.

10.3. Impacte Ambiental Térmico

10.3.1. Temperatura exterior

A variação da temperatura ambiental exterior proveniente dos registos meteorológicos em cada mina (fig. 10.1) mostram que nas minas de Neves Corvo e da Panasqueira existe uma tendência aproximadamente similar e com uma forte variação ao longo do ano (15 °C), não existindo uma marcada diferença nestas minas apesar de estarem localizadas em diferentes regiões de Portugal e existir uma diferença de altitude da ordem de 600 metros.

Tabela 10.1 – Resumo de informações sobre as minas estudadas


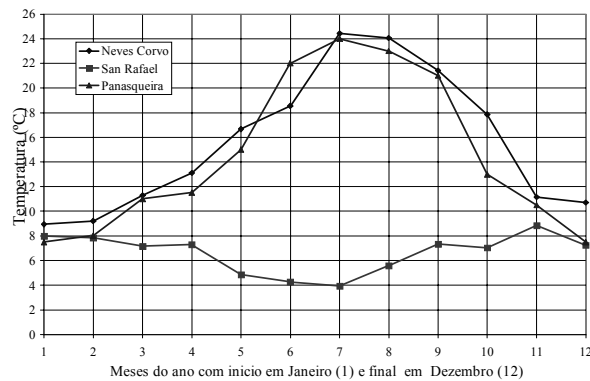
Detalhe	Informação geral	Mina
Mina	NEVES CORVO	
Empresa	Sociedade Mineira de Neves Corvo S. A.	
Continente	Europa (península Ibérica)	
Pais	Portugal	
Localidade	Castro Verde e Almodôvar	
Altitude	200 m	
Área geológica	Oeste da faixa piritosa Ibérica	
Jazida	Hidrotermal, vulcano-sedimentar, corpos	
Rocha	Xistos negros argilosos e carbonosos	
Mina de	Cobre principalmente (Estanho e Zinco)	
Produção	6500 t/dia de minério	
Exploração	Drift and fill e bench and fill	

Tabela 10.1 (cont.) – Resumo de informações sobre as minas estudadas

Detalhe	Informação geral	Mina
Mina	PANASQUEIRA	
Empresa	Beralt Tin & Wolfram (Portugal) S. A.	
Continente	Europa (península Ibérica)	
País	Portugal	
Localidade	Barroca Grande	
Altitude	700 m a 900 m	
Área geológica	Sul da cordilheira da Serra da Estrela	
Jazida	Hidrotermal vulcânico, filões subhorizontais	
Rocha	Fundamentalmente xistos	
Mina de	Volfrâmio	
Produção	2000 t/dia de minério	
Exploração	Câmaras e pilares	
Mina	SAN RAFAEL	
Empresa	Compañía Minera MINSUR S. A.	
Continente	América do Sul	
País	Peru	
Localidade	Antauta	
Altitude	4500 m a 5000 m	
Área geológica	Cordilheira Oriental do Sul	
Jazida	Hidrotermal vulcânico, corpos	
Rocha	Filitos, quartzitos e stoks graníticos	
Mina de	Estanho	
Produção	2500 t/dia de minério	
Exploração	Sub Level Stopping	

A variação da temperatura exterior média mensal da mina peruana de San Rafael não é grande ao longo do ano (4 °C), constituindo uma característica típica dos Andes peruanos. Entretanto, existe uma forte variação nas minas portuguesas, sendo este facto devido a que as minas de Neves Corvo e Panasqueira estão localizadas na Latitude Norte e altitudes de 200 e 700 m, respectivamente, e a mina de San Rafael na Latitude Sul a uma altitude próxima de 5000 m, embora, durante os meses de Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro nas três minas se registem temperaturas médias mensais com escassa diferença (8 a 10 °C) que correspondem as mínimas em minas portuguesas e máximas na mina peruana.

Figura 10.1 – Variação da temperatura média mensal nas minas de Neves Corvo, Panasqueira e San Rafael



10.3.2. Temperatura no ambiente subterrâneo

10.3.2.1. Correlação da temperatura exterior e da atmosfera subterrânea

A tendência das temperaturas registadas no ambiente subterrâneo da mina de Neves Corvo (fig. 10.2 esquerda) e da mina da Panasqueira (fig. 10.2 direita) mostram que existe influência da temperatura exterior na temperatura das frentes de trabalho subterrâneas. Quando no exterior a temperatura é alta no ambiente subterrâneo é também alta e vice-versa, portanto pode existir alguma relação entre as duas temperaturas.

Para a análise da correlação entre a temperatura exterior e a temperatura no ambiente subterrâneo são consideradas as duas minas portuguesas, porque é nestas que existe uma notória variação da temperatura no ambiente subterrâneo (fig. 10.3). A correlação permite uma conclusão de carácter geral no sentido de que a temperatura exterior abaixo de 6 °C não influencia a do ambiente subterrâneo.

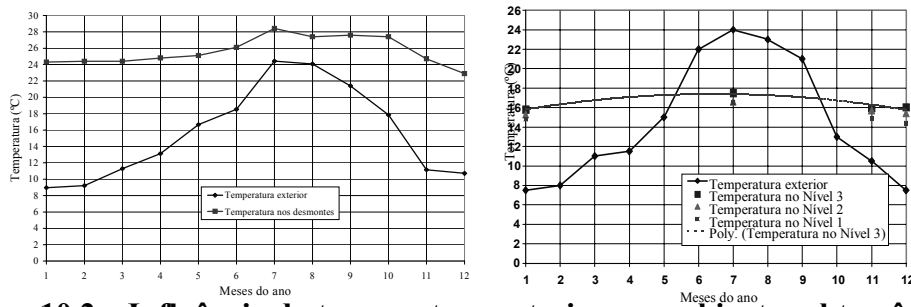


Figura 10.2 – Influência da temperatura exterior no ambiente subterrâneo da mina de Neves Corvo (esquerda) e na mina de Panasqueira (direita)

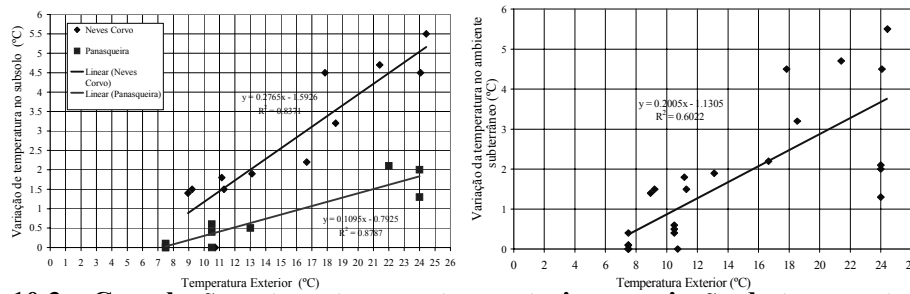


Figura 10.3 – Correlação entre a temperatura exterior e variação da temperatura na atmosfera subterrânea

A análise baseada nestas minas conduz a uma expressão geral (equação 10.1) que correlaciona a variação da temperatura da atmosfera subterrânea VTS (°C) em função da temperatura do ar exterior TE (°C) para valores desta maiores ou iguais a 6 °C. Portanto, esta expressão poderá ser útil para minas Portuguesas, Europeias e minas subterrâneas do mundo, localizadas em zonas com variações de temperatura similares às das duas minas estudadas e a profundidades similares.

$$VTS = 0.2005TE - 1.1305, \text{ para } TE \geq 6^\circ\text{C} \quad (10.1)$$

No caso da mina de San Rafael a temperatura exterior varia ao longo do ano entre 4 °C e 9 °C, pelo que a influência na temperatura da atmosfera subterrânea é praticamente irrelevante. Esta conclusão será aplicável a minas com similares condições.

10.3.2.2. Fontes de calor no ambiente subterrâneo

Os estudos realizados para a determinação das fontes de calor foram, na mina de Neves Corvo, no desmorte (CO547GAM) a uma profundidade de 659.30 m, e na mina de San Rafael, na galeria (Nível 3850) a uma profundidade de 683 m, com presença de água termal. A quantificação percentual das fontes de calor na atmosfera subterrânea está na Tabela 10.2.

Tabela 10.2 – Resultado comparativo das fontes de calor

Fontes de calor	Neves Corvo (desmorte)		San Rafael (galeria)		
	Temperatura (°C)	Porcentagem (%)	Temperatura (°C)	Porcentagem (%)	Porcentagem (%)
Maçiço rochoso	20.77 °C	85.1%	12.66 °C	90.4%	48.6%
Detonação do explosivo	1.63 °C 2.0 °C	6.7% 8.2%	0.52 °C 0.82 °C	3.8% 5.8%	3.3% 2.0%
Equipamentos diesel	-	-	12.0 °C	-	46.1%
Água termal					

Os resultados mostram que o maior poluente térmico é a temperatura do maciço rochoso (85% a 90 %), seguido do equipamento diesel (6% a 8%) e finalmente da detonação do explosivo (4% a 7%). Portanto, neste caso o parâmetro mais importante é o grau geotérmico em minas com profundidades da ordem dos 600 m. No caso de Neves Corvo é de 1 °C/30.3 m e no caso de San Rafael 1 °C/65 m.

10.3.2.3. Análise comparativa das normas portuguesa e peruana

A norma portuguesa tolera um máximo de 31 °C, 26 °C e 28 °C para as temperaturas seca, húmida e efectiva, respectivamente, mas a norma peruana considera apenas a temperatura efectiva com o valor máximo de 30 °C (fig. 10.4).

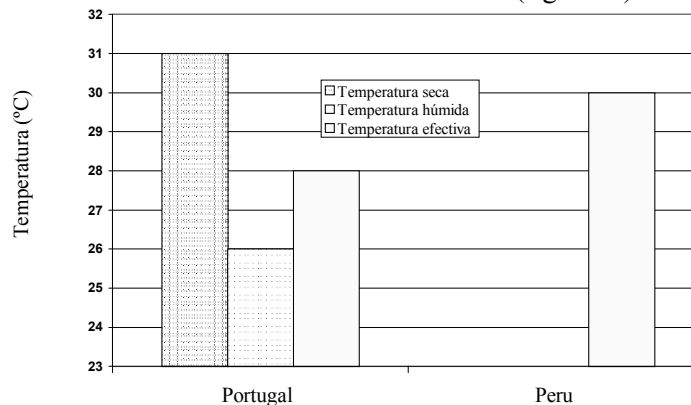


Figura 10.4 – Valor máximo permitido de temperatura em Portugal e Peru

A figura 10.4 ilustra uma diferença não só na tolerância máxima, mas também no critério para estabelecer o valor máximo.

Estas diferenças obviamente conduzem a tomar referências diferentes para a identificação do impacte ambiental térmico (Tabela 10.3) em cada país.

Tabela 10.3 – Matriz base para a avaliação do impacte ambiental térmico

Temperaturas (°C)		Níveis de impacte ambiental		
		Leve ▽	Moderado ⊗	Alto ◆
Portugal	Seca (t_s)	$31 < t_s \leq 33$	$33 < t_s \leq 35$	$t_s > 35$
	Húmida (t_h)	$26 < t_h \leq 28$	$28 < t_h \leq 30$	$t_h > 30$
	Efectiva (t_e)	$28 < t_e \leq 29$	$29 < t_e \leq 30$	$t_e > 30$
Peru	Efectiva (t_e)	$30 < t_e \leq 31$	$31 < t_e \leq 32$	$t_e > 32$

10.3.2.4. Medidas correctivas do impacte ambiental térmico

A procura das medidas correctivas para reduzir a temperatura do ambiente subterrâneo nos desmontes da mina de Neves Corvo e aberturas subterrâneas com presença de água termal (nível 3850) na mina de San Rafael, permitiram tirar interessantes conclusões relacionados com a obtenção da temperatura de conforto ambiental, cujo resumo está apresentado na Tabela 10.4. Não se considera a mina da Panasqueira, porque não apresenta problemas relacionados com a temperatura.

Em termos gerais, para minas subterrâneas a considerável profundidade (~ 600 a 800 m) que usam explosivo e equipamentos diesel, o caudal do ar Q (m^3/s) que permita obter a temperatura de conforto ambiental subterrâneo pode-se calcular pela equação (10.2), onde T_e é a temperatura de entrada no ambiente subterrâneo (°C) e T_s é a temperatura de saída deste ambiente (°C).

$$T_e = T_s + [20.461/(1 + 2.97Q)] + 29.025/Q, \quad \text{para } T_s < 29 \text{ °C} \quad (10.2)$$

É interessante observar que, quando a temperatura de entrada no ambiente subterrâneo ultrapassa os 29 °C, torna-se impossível conseguir a temperatura de conforto ambiental com a utilização de ar, porque precisa de quantidades exorbitantes de ar (curva assintótica) pelo que, a partir desta situação, é preciso um sistema de refrigeração.

10.4. Impacte Ambiental Dinâmico e Volumétrico no Ar

10.4.1. Ambiente subterrâneo e caudal de ar

O ambiente subterrâneo considerado para o estudo abrange perto de 130 km nas três minas, com secções médias que variam de 9 m^2 a 20 m^2 e profundidades de 210 a 1200 metros (Tabela 10.5).

O caudal de ar caracterizado nas aberturas subterrâneas, em relação ao caudal requerido para as condições operacionais de cada mina (Tabela 10.6) é menor em 30 a 35%, ocasionando problemas de impacte ambiental de nível alto em alguns locais.

A fig. 10.5 (esquerda) ilustra a relação directa entre o caudal de ar e a produção de minério nas três minas estudadas, ou seja quanto maior produção maior caudal de ar.

Tabela 10.4 – Resultados da medida correctiva para a mitigação do impacte ambiental térmico

Resumo	Resultado de medidas correctivas
<p>a) A temperatura na entrada do ar deve ser no máximo de 29 °C para não ultrapassar o valor limite admissível da norma portuguesa.</p> <p>b) A temperatura na entrada não deve ser superior a 27 °C para conseguir o conforto ambiental.</p> <p>c) Quanto maior é a temperatura na entrada do ar maior caudal de ar é necessário para o conforto.</p> <p>d) Consoante á última conclusão, os caudais de conforto variam de 9 m³/s até um caudal requerido e/ou viável economicamente.</p> <p>e) A partir de 36 m³/s, o aumento do caudal tem uma insignificante redução da temperatura no ambiente subterrâneo.</p>	<p style="text-align: center;">Neves Corvo</p> <p style="text-align: center;">San Rafael</p>
<p>a) A temperatura na entrada deve ser no máximo 29 °C para não ultrapassar o valor limite admissível da norma peruana.</p> <p>b) A temperatura na entrada para o conforto deve ser menor de 27 °C.</p> <p>c) O caudal mínimo de ar de conforto é de 10 m³/s.</p> <p>d) A partir de 35 m³/s o aumento do caudal tem uma insignificante redução da temperatura no ambiente subterrâneo.</p>	<p style="text-align: center;">San Rafael</p>

Na realidade, poderá acontecer que para um caudal zero (0) seja impossível obter uma produção de minério, pelo que também a produção seria zero (0). Portanto, a tendência passa pelo ponto de origem tomando uma evolução tal como é ilustrado na fig. 10.5 (direita) cuja equação é a (10.3) com um coeficiente de correlação de R^2 de 0.99, onde Q é caudal de ar (m³/s) e P é a produção diária de minério (t/dia).

$$Q = 0.00005P^2 + 0.054P - 4.9856, \text{ para } Q > 4.9856 \text{ m}^3/\text{s} \quad (10.3)$$

Esta equação é obtida considerando a quantidade de homens e equipamentos diesel usados nas duas operações e para as normas portuguesa e peruana.

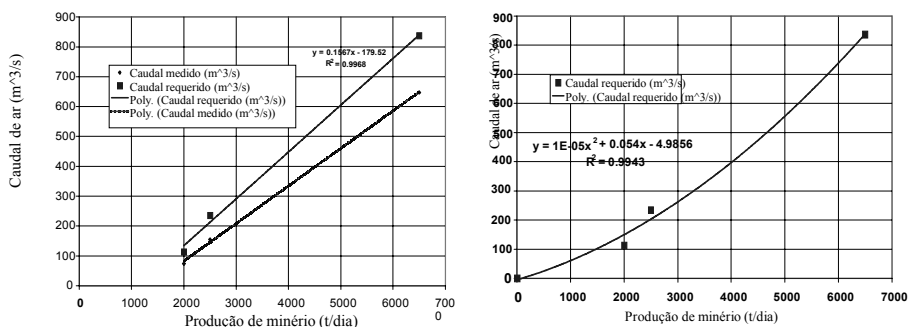


Figura 10.5 – Variação do caudal de ar em relação à produção diária

Tabela 10.5 – Dimensão e profundidade máxima do ambiente subterrâneo das minas estudadas

Mina	Variação da secção (m ²)	Secção média (m ²)	Comprimento total (km)	Profundidade (m)
Neves Corvo	9.16 – 30.48	20	80	750 - 770
San Rafael	5.95 – 22.50	16	30	680 - 1200
Panasqueira	2.30 – 20.30	9	20	210 - 400

Da Tabela 10.6 pode-se exprimir que o volume de ar requerido para produzir uma tonelada de minério na mina de Neves Corvo é 11122 m³/t, na mina de San Rafael 8129 m³/t e na Panasqueira de 4908 m³/t. Estes resultados mostram que, quanto maior é a produção maior o é volume de ar necessário.

Tabela 10.6 – Caudal caracterizado, requerido e produção de minério

Neves Corvo			San Rafael			Panasqueira		
Caudal de ar		Produção (t/dia)	Caudal de ar		Produção (t/dia)	Caudal de ar		Produção (t/dia)
Medido (m ³ /s)	Requerido (m ³ /s)		Medido (m ³ /s)	Requerido (m ³ /s)		Medido (m ³ /s)	Requerido (m ³ /s)	
647.00	836.72	6500	154.60	235.22	2500	73.83	113.60	2000

10.4.2. Poeiras e gases

Para efeito de análise comparativa (fig. 10.6) consideram-se os estudos realizados na mina da Panasqueira e na mina de Neves Corvo em 1992 e 1996 (Instituto Geológico e Mineiro – IGM), Tabela 10.7, e medições de gases, efectuados nesta última mina pelo seu Departamento de Ventilação, entre os meses de Junho e Julho de 2000, havendo-se identificado uma concentração de NO que varia de 0 a 6 ppm, NO₂ de 0 a 0.4 ppm e O₂ de 20.3 a 20.9 %.

Tabela 10.7 – Concentração de poeiras e sílica livre nos desmontes da mina de Neves Corvo (IGM, 1992 e 1996)

Poluente	Concentração de poeiras (mg/m ³) – Sílica livre (%)
Poeira	2.3, 4.9, 3.2, 3.1, 1.2, 0.5, 1.7, 1.0, 2.7, 1.0, 2.2, 1.8, 1.8, 3.1, 1.2, 3.3, 2.8
Sílica livre	12.4, 13.4, 12.1, 12.6, 11.9, 0.0, 3.2, 0.0, 3.5, 0.0, 0.0, 13.0, 12.0, 10.0, 0.0, 10.0, 13.0

O teor de sílica livre no ambiente subterrâneo da mina da Panasqueira é o caracterizado pelo IGM no ano de 1988 (Tabela 10.8).

Tabela 10.8 – Concentração de poeiras e sílica livre nas frentes de trabalho e desmontes da mina da Panasqueira (IGM, 1988)

Poluente	Concentração de poeiras (mg/m ³) – Sílica livre (%)
Poeira	4.41, 1.05, 1.93, 2.58, 1.01, 0.48, 0.98, 0.96, 1.87
Sílica livre	22.0, 0.0, 0.0, 68.0, 100.0, 0.0, 25.0, 0.0, 25.0

Na mina da Panasqueira nota-se uma altíssima concentração de sílica livre em algumas zonas e nomeadamente nas zonas da operação de remoção com equipamentos LHD e na câmara de britagem.

Comparativamente, há maior presença de sílica na mina da Panasqueira porque a exploração está orientada a filões de quartzo com disseminações de WO₃ encaixados nos xistos, mas na mina de Neves Corvo são corpos mineralizados de cobre (principalmente) em rocha xistosa.

Os resultados finais estão apresentados na Tabela 10.9, com os valores mais baixos e mais altos e um valor denominado mais frequente que indica concentrações identificadas com maior frequência.

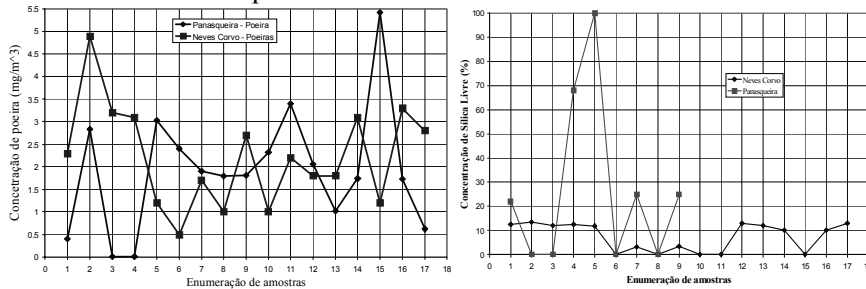


Figura 10.6 – Concentração de poeiras (esquerda) e sílica livre (direita) nas minas de Neves Corvo e Panasqueira

Tabela 10.9 – Resultado da concentração de poeiras, sílica livre e gases

Nível de concentração	Poeira (mg/m ³)	Sílica Livre (%)	Gases identificados				
			CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₂ (%)
Baixa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.2
Mais frequente	2.0	12 - 20	10	1000	2.0	4.0	19.4 - 20.5
Alta	5.0	13.4 - 100	500	3000	6.0	12	20.9

10.4.3. Análise comparativa das normas portuguesa e peruana

Entre a norma portuguesa (Decreto Lei n.º 162/90) e a peruana (Reglamento de Seguridad e Higiene) existe marcada diferença (fig. 10.7 e fig. 10.8). A velocidade mínima admissível em Portugal é de 0.20 m/s e no Peru é de 0.33 m/s, sendo máxima de

8 m/s em Portugal e de 4.17 m/s em Peru. O caudal mínimo de ar por cada HP de potência de motor diesel em Portugal é de 0.035 m³/s no Peru de 0.05 m³/s.

O caudal mínimo para cada homem no Peru varia em relação à altura acima do nível do mar. Em relação aos gases a Norma Portuguesa não especifica os limites máximos permissíveis e a Norma Peruana considera 19.5% para O₂, 0.5% (5000 ppm) para CO₂, 0.005% (50 ppm) para o CO, 0.0005% (5 ppm) para o NO_x, 0.002% (2 ppm) para o SO₂, 0.5% (5000 ppm) para CH₄ e 0.5% (5000 ppm) para H₂.

Em relação a gases e poeiras para o ambiente subterrâneo, a regulamentação portuguesa define os valores limites permissíveis para poeiras mas não para gases, e a peruana define para ambos poluentes, portanto também neste domínio existem algumas divergências.

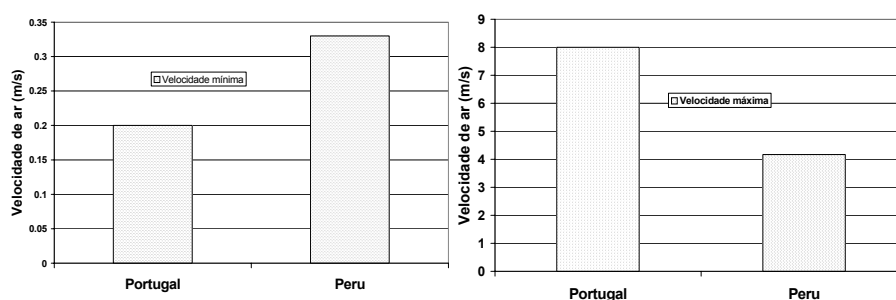


Figura 10.7 – Valores da velocidade de ar mínima (esquerda) e máxima (direita) permissíveis pela norma portuguesa e peruana

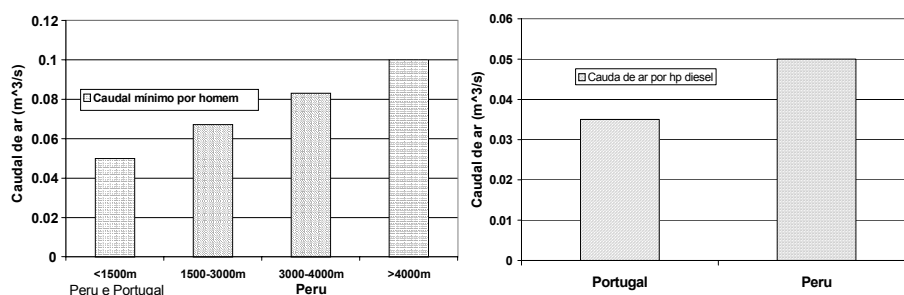


Figura 10.8 – Valores do caudal de ar mínimo admissível por cada homem (esquerda) e por cada hp de potência de motor diesel (direita) pela norma portuguesa e peruana

10.4.4. Caudais de ar para condições críticas de operação

O caudal mínimo admissível nas minas de Neves Corvo e Panasqueira (Portugal) são menores do que na mina de San Rafael (Peru), pelo facto que a norma peruana considerar o caudal mínimo admissível em função da altitude, e estando esta acima de 4000 m, o caudal é praticamente o dobro do requerido nas minas portuguesas. De igual forma o caudal mínimo admissível para a mina peruana é maior, porque a norma peruana

considera um caudal maior que a portuguesa por cada hp de motor diesel (Tabela 10.10 e fig. 10.9).

Tabela 10.10 – Caudal mínimo admissível nas minas de Neves Corvo e Panasqueira de Portugal na mina de San Rafael do Peru

Mina	Local	Homens	Pot. diesel (hp)	Caudal mínimo q (m ³ /s)		
				Homens	Máq.	Total
Panasqueira	Desmontes totais	30	364	1.50	12.74	14.24
	L2 e L3 do Poço Extracção e rampas	10	44	0.50	1.54	2.04
	Rampa L2/L3 e L3.P(-5)	15	182	0.75	6.37	7.12
	Câm. Queb. e Cabeça de correia.	03	0	0.15	0	0.15
Neves Corvo	Desmontes	03	224	0.15	10.52	10.67
	Oficinas de manutenção	12	224	0.60	11.60	11.12
	Nível de rolagem	04	706	0.20	18.40	18.60
	Galerias e rampas	15	136	0.75	4.76	5.51
San Rafael	Rampa 523	47	1925	4.70	96.25	100.95
	Zapata - Frentes	10	325	1.00	16.25	17.25
	San Rafael- Frentes	10	325	1.00	16.25	17.25
	Desmontes	4	740	0.40	37.00	37.40

Em condições extremas, o caudal mínimo requerido para cada trabalhador representa apenas uns 4.5% do requerido pela utilização de equipamentos diesel. Portanto, a importância do caudal mínimo de ar para os homens é fundamentalmente quando não há presença de equipamentos com motor diesel.

A grande diferença da potência de motor diesel utilizada na mina de San Rafael é porque o sistema de transporte principal é realizado mediante camiões com motor diesel até o exterior, ou seja, o sistema utilizado é quase em 100% *trackless mining*, mas nas minas de Neves Corvo e Panasqueira é por sistema de extracção em poços verticais e inclinados.

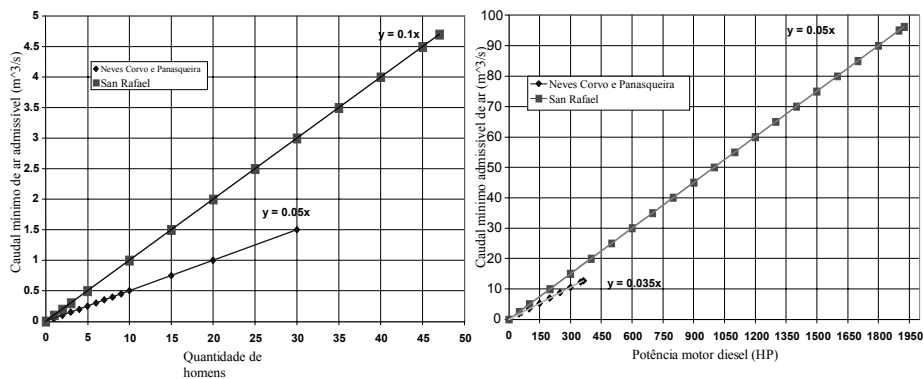


Figura 10.9 – Caudal mínimo admissível para homens (esquerda) e potência de motor diesel (direita) em minas portuguesas e peruanas

10.4.5. Medidas correctivas do impacte dinâmico e volumétrico

A fig. 10.10 mostra que as minas de Neves Corvo e San Rafael apresentam impacte ambiental para velocidades até 1 m/s e caudal até 16 m³/s, mas na mina da Panasqueira este problema ambiental acontece para velocidades até 0.5 m/s e caudais até 7 m³/s.

As medidas correctivas aplicadas estão compreendidas desde aproximadamente 0.20 m/s para Panasqueira e Neves Corvo, e desde 1.0 m/s para a mina de San Rafael, reflectindo estes resultados a diferença de normas e condições em cada país.

O declive das tendências confirmam a influência da secção das aberturas subterrâneas, ou seja, a menor secção corresponde a maior pendente e vice-versa.

Os resultados comparativos permitem exprimir que a velocidade mínima de ar para obter uma boa qualidade está entre 0.5 a 0.8 m/s (*velocidade crítica*).

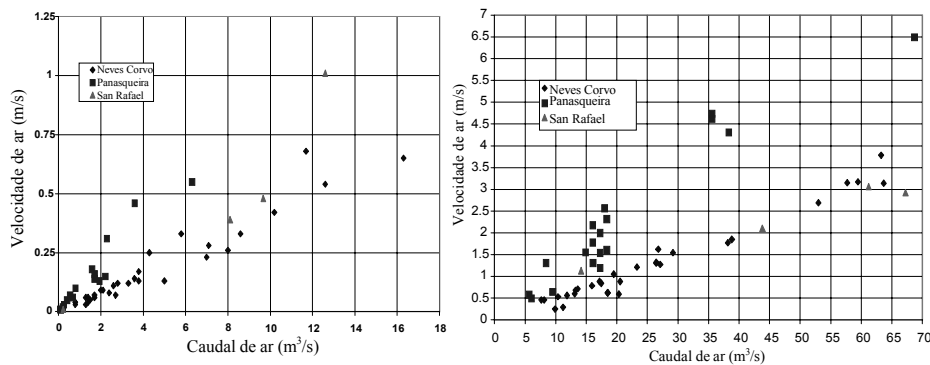


Figura 10.10 – Velocidade e caudal de impacte ambiental negativo identificados (esquerda) e da medida correctiva aplicada (direita)

10.4.6. Análise comparativa de custos

Os custos relacionados com o estudo de impacte ambiental na atmosfera subterrânea são analisados nas três minas, considerando os custos na caracterização inicial (situação de referência) e os custos da medida correctiva adoptada. A Tabela 10.11 compara os resultados.

A análise dos resultados apresentada na tabela, indica que os custos por m³ de ar na atmosfera subterrânea na mina de San Rafael são 3.5 vezes e 14 vezes maiores que em Neves Corvo e Panasqueira, respectivamente, e os custos em Neves Corvo são 4 vezes maiores que na Panasqueira.

Tabela 10.11 – Custos de ar subterrâneo nas minas de Neves Corvo, Panasqueira e San Rafael

Parâmetro	Neves Corvo		Panasqueira		San Rafael	
	Situação de Ref.	Medida Correct.	Situação de Ref.	Medida Correct.	Situação de Ref.	Medida Correct.
Potência (kW)	2046	2563	120	120	1492	1702
Caudal (m ³ /s)	647	837	74	114	155	235
Custo (€/m ³)	0.0000791	0.0000766	0.0000292	0.0000190	0.0003655	0.0002612

Estas diferenças de custos estão relacionadas basicamente com o sistema de ventilação (natural, forçado ou misto), com a secção e comprimento total das aberturas subterrâneas, com a potência dos motores diesel utilizados e altitude em relação ao nível do mar (Tabela 10.12).

Tabela 10.12 – Condições de operação nas minas de Neves Corvo, Panasqueira e San Rafael

Minas	Tipo de ventilação	Secção média	Comprimento total (km)	Pot. motor diesel (hp)	Altitude (m)
Neves Corvo	Forçado	20	80	1290	200
Panasqueira	Misto	16	30	590	750
San Rafael	Misto	09	20	3315	4530

10.5. Impacte Ambiental Acústico

O estudo de impacte ambiental acústico foi realizado com detalhe na mina da Panasqueira e para efeito de comparação consideram-se os estudos realizados na mina de Neves Corvo pelo IGM em 1992 (Tabela 10.13).

Tabela 10.13 – Nível sonoro contínuo equivalente máximo de ruído registado no ambiente subterrâneo da mina de Neves Corvo (IGM, 1992)

No.	Posto de trabalho	Equipamento	Exposição efectiva (h)	Leq dB (A)	N.º de trabalh.
1	Desmorte Graça 09	LHD	25	96	1
2	Desmorte 816F22 J.F.11	Jumbo	25	105	1
3	Rampa acesso Graça	Ventilador	25	97	Vários
4	Galeria muro Sul 7407B	Ventilador	25	90	Vários
5	Rolagem 700	LHD	25	91	2
6	Desmorte CO752G401	Jumbo	25	93	2
7	Desmorte CO7362B	LHD	25	91	1
8	Galeria 900GAM	LHD	25	95	1
9	Galeria 900GAM	Jumbo	25	103	2
10	Cabina Câmara Quebragem	-	25	73	1

Os resultados não incluem a especificação do tipo ou tamanho dos equipamentos que produzem poluição acústica, nem a distância até à qual existe a influência do impacte acústico negativo.

10.5.1. Análise da tendência do ruído no ambiente subterrâneo

O nível sonoro contínuo equivalente Leq máximo caracterizado na mina da Panasqueira (Tabela 4.14) varia desde 92 dB (A) até 120 dB (A) e correspondem à fonte dos ruídos.

Comparativamente com os registos das medições em Neves Corvo o nível sonoro contínuo equivalente no ambiente subterrâneo da Panasqueira é maior. Por exemplo, no caso do LHD diesel na Panasqueira é maior em 6 dB (A), nos jumbos de perfuração é maior em 15 dB (A) e nos ventiladores é maior em 14 dB (A). Esta diferença poderá ser provocada pela menor secção da escavação subterrânea e a distância onde foi medida.

O impacte ambiental sonoro não é só na fonte, mas atenua-se à medida que se afasta dela, pelo que a seguir se analisa este aspecto.

Tabela 10.14 – Nível sonoro contínuo equivalente máximo de ruído registado no ambiente subterrâneo da mina da Panasqueira

No.	Posto de trabalho	Equipamento	Exposição efectiva (h/dia)	Leq dB (A)	N.º de homens
1	Desmontes	LHD Wagner Diesel ST-3.5	6.3	102	2
2	Desmontes	LHD eléctrico EST-2D	5.2	93	2
3	Desmontes	Jumbo Tamrock H107	5.6	120	2
4	GalP-5, ramp L2/L3	Dumper Wagner MT 412	6.5	104	1
5	Gal., ramp, Desmon	Tractor AGRIA	Eventual	97	13
6	Poço extracção	Sistema Jaula - Vagões	6.5	89	8
7	Galeria D23:L2	2 Ventiladores de 80 hp	Eventual	111	variável
8	Galeria D23.L2	1 Ventilador de 80 hp	Eventual	102	Variável
9	Desmontes	1 Ventilador de 7.5 kW	Eventual	92	Variável
10	Câmara quebragem	Britagem primário	2.05	103	1
11	Cabeça de correia	Tela transp.torvas	2.05	97	1
12	Virador de mineral	Descarga vagões	Eventual	93	1

A caracterização acústica das operações de extracção pelo poço entre o nível 3 e 2 foi feita com registos do ruído na galeria D15, com presença de homens. A secção da galeria D15 no nível 3 é de 9.60 m² e no nível 2 de 9.70 m² com uma média de 9.65 m² escavadas com explosivo em xisto.

As operações de extracção incluem duas partes bem distintas, a entrada de vagões na jaula (vazias no nível 2 e carregadas no nível 3) e saída de estes vagões da jaula (vazias no nível 3 e carregadas no nível 2) accionadas de forma automática, sendo este processo que produz o ruído.

Nas medições registaram-se com o valor máximo de 89 dB (A) na estação próximo do poço, a partir do qual existe uma atenuação em função da distância (fig.

10.11), que para este se aplicam as equações indicadas na Tabela 10.15, onde Leq_D é o Leq à distância D (m) e $Leq_{m\acute{a}x}$ é o Leq caracterizado na fonte.

$$Leq_D = Leq_{m\acute{a}x} - 0.2369D \quad (10.4)$$

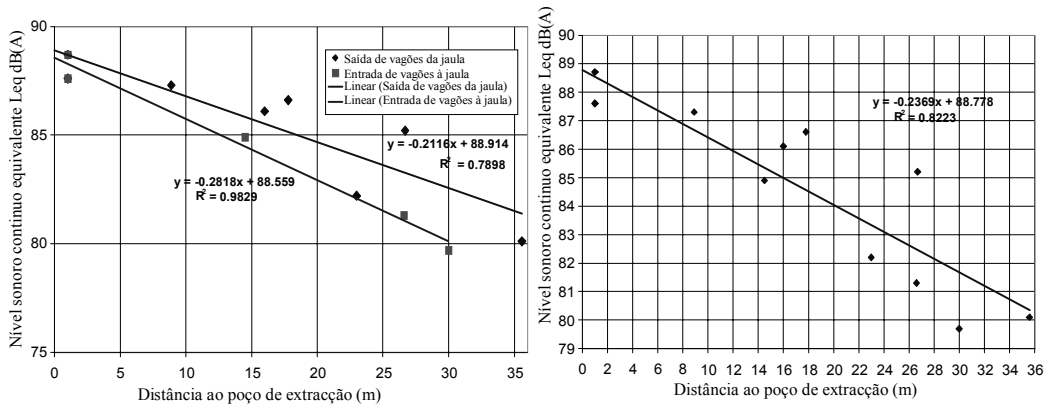


Figura 10.11 – Atenuação do ruído na galeria D15 em ambos lados do poço (esquerda) e geral (direita) no poço de extracção da mina da Panasqueira

Em termos gerais e para ambos os trechos da galeria de 9.65 m² escavada em xisto, resulta a equação (10.4) representando a atenuação pela distância.

Como já foi dito, o método de exploração na mina da Panasqueira é de câmaras e pilares com câmaras de 5.0 m de largura e 2.2 m de altura (11.10 m²) e pilares de 3.0 m a 11.0 m. No sentido da orientação destas câmaras a atenuação do ruído devido à distância é ligeiramente diferente que no sentido lateral (fig. 10.12).

Tabela 10.15 – Equações de atenuação do ruído pela operação no poço de extracção e na galeria de 9.65 m² de secção (Mina da Panasqueira)

Trecho da galeria	Ambiente próximo ao Poço de Extracção (fig. 4.7 esquerda)	Geral para galeria de 9.65 m ² de secção escavado em xisto
Entrada de vagões à jaula	$y = -0.2818x + 88.559$ $R^2 = 0.9829$	$Leq_D = -0.2818D + Leq_{m\acute{a}x}$
Saída de vagões da jaula	$y = -0.2116x + 88.914$ $R^2 = 0.7898$	$Leq_D = -0.2116D + Leq_{m\acute{a}x}$

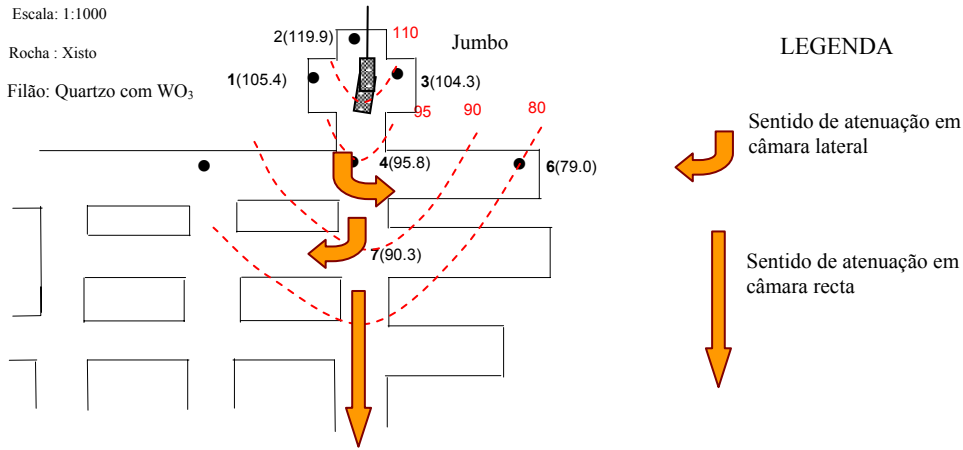


Figura 10.12 – Sentido da propagação das ondas sonoras nos desmontes de câmaras e pilares

A atenuação do ruído em função da distância à fonte fixa, como é o caso dos ventiladores (fig. 10.13) é expressa pela equação (10.5) quer no sentido das câmaras quer no sentido lateral.

$$Leq_D = Leq_{máx} - 0.49454D \quad (10.5)$$

A atenuação para o caso do jumbo Tamrock H107 e LHD Diesel Wagner ST-3.5 de Atlas Coco (fig. 10.14) está expresso na equação (10.6) quer no sentido paralelo quer lateral das câmaras.

$$Leq_D = Leq_{máx} - 0.8056D \quad (10.6)$$

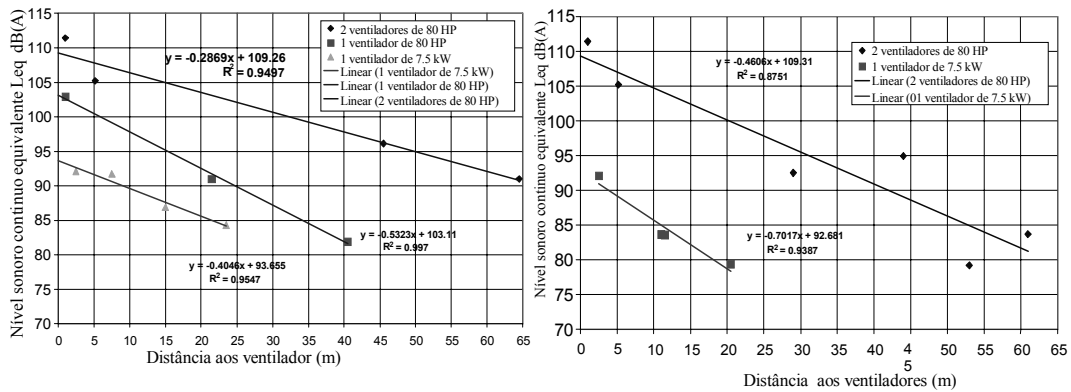


Figura 10.13 – Atenuação do ruído produzidos pelos ventiladores nos desmontes de câmaras e pilares

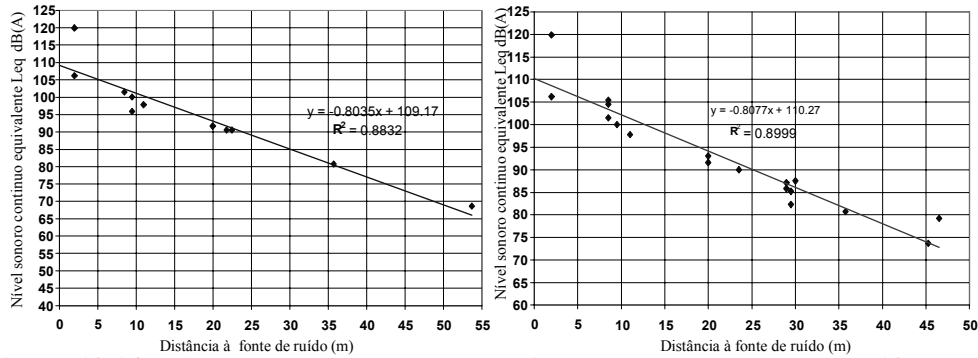


Figura 10.14 – Atenuação do ruído produzido pelo Jumbo Tamrock H107 e LHD Diesel ST-3.5 nos desmontes de câmaras e pilares

10.5.2. Medidas correctivas do impacte ambiental

No domínio de norma relacionada com o ruído também existem certas diferenças no tratamento do problema ambiental.

Em relação às medidas correctivas do impacte ambiental sonoro as mais recomendáveis são as medidas de protecção colectiva, medidas de organização do trabalho e medidas de protecção individual.

As medidas de protecção colectiva são formas de intervenção ao nível estrutural tais como: actuação sobre a fonte produtora de ruído e actuação sobre as vias de propagação, como é o caso do isolamento anti-vibratório, tratamento acústico das superfícies e cabinas.

A medida de organização é relacionada com a diminuição do tempo de exposição do homem, que é possível conseguir, por exemplo, com a rotação do pessoal.

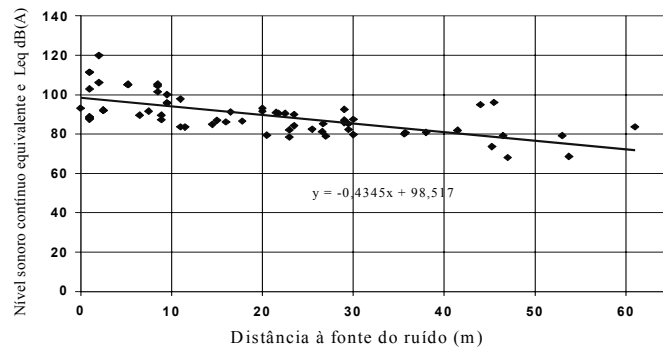


Figura 10.15– Tendência da atenuação do ruído pela distância no ambiente subterrâneo da mina da Panasqueira

Em termos gerais a atenuação do ruído está ilustrada na fig. 10.15 que corresponde à equação (10.7).

$$Leq_D = Leq_{máx} - 0.4345D \tag{10.7}$$

10.6. Água Subterrânea e Impacte Ambiental

10.6.1. Análise das características quantitativas e qualitativas

Estudos sobre o problema ambiental no domínio ambiental água no ambiente subterrâneo também foi realizado na mina da Panasqueira, portanto a análise é baseada fundamentalmente nestes resultados, mas considera-se importante referir o resultado de estudos realizados na mina de Neves Corvo (Fernandez Rubio , *et al.*, 1990).

Em Neves Corvo foram identificados três tipos de água subterrânea: água salgada fóssil confinada no complexo mineralizado, água em descontinuidades sub-verticais no complexo intermédio e água de infiltração produto da chuva e ribeira de Oeiras. Intensos estudos realizados na etapa de sondagens e construção da rampa de Castro, poço de extracção e chaminés, permitiram determinar as características físico-químicas (Tabela 10.16) das águas.

Tabela 10.16 – Características físico-químicas de águas subterrâneas da mina de Neves Corvo (Fernandez Rubio, *et al.*, 1990)

Parâmetro	Caudal (l/s)	Variação de temperatura	Aumento da condutividade ($\mu\Omega/cm/m$ prof.)	Aumento da concentração cada 100 m prof.
Quantidade	>72.00	1 °C/30.3 m	4.00	Cl : 150 mg/l, Na: 141 mg/l K : 130 mg/l, Li : 0.1 mg/l
Iões	Cl ⁻ , SO ₄ ⁻² , HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ⁻² , NO ₃ ⁻¹ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , Li ⁺ , B, P ₂ O ₅ , SiO ₂			

A litologia e mineralogia das áreas de exploração de Neves Corvo e Panasqueira (Tabela 10.17) têm alguma semelhança e marcada diferença no tipo da jazida.

O caudal de água subterrânea medido na mina da Panasqueira foi de 810.22 l/s (Janeiro de 2001), que corresponde à época de maior precipitação pluvial.

A grande diferença de caudal de água subterrânea entre ambas minas permitem indicar que obedecem às condições hidrogeológicas e operacionais de cada mina (Tabela 10.18).

Tabela 10.17 – Características litológicas e mineralógicas das minas de Neves Corvo e Panasqueira

Mina	Litologia	Jazida mineral	Mineralogia
Neves Corvo	Vulcano-sedimentar Xistos negros argilosos e carbonosos, quartzitos e siltitos	Corpos mineralizados com sulfureto massivo de cobre, chumbo, zinco e estanho principalmente	Pirite, Calcopirite, Esfalerite, Tetraedrite, Galena, Cassiterite. Como Acessório: Arsenopirite, Bornite, Cobaltite, etc.
Panasqueira	Xistos com diferentes graus de metamorfismo por intrusão granítica	Filões quartzosos, sub-horizontais, com impregnações de Volframite	Volframite, Pirite, Cassiterite, Calcopirite, Blenda, Topázio, Apatite, Fluorite, Mica e Marcassite.

Como os estudos realizados na mina da Panasqueira foram com amostragem na etapa da operação, é notório que a água é ácida e com altas concentrações de metais (fig. 8.54), e ao ser descarregado na ribeira de Bodelhão provoca uma marcada alteração das suas condições naturais (fig. 8.55).

Tabela 10.18 – Condições que explicam a diferença de caudais de água subterrânea nas minas de Neves Corvo e Panasqueira

Mina	Condições hidrogeológicas	Medidas de controlo
Neves Corvo	Processo vulcano marinho, descontinuidades, falhas e localização da ribeira de Oeiras na parte superior das aberturas subterrâneas	Impermeabilização do leito da ribeira de Oeiras e bombagem
Panasqueira	Fundamentalmente presença de falhas que delimitam blocos que ao produzir vazios com as explorações provocaram subsidência e a directa infiltração de água superficial	Drenagem por gravidade e bombagem

Comparando os resultados da caracterização química da mina da Panasqueira (Tabela 10.19) e as informações obtidas da mina de Neves Corvo é possível indicar que as marcadas presenças de metais nas águas subterrâneas da mina da Panasqueira são devida às águas ácidas, produto da exposição de grandes superfícies rochosas criadas pela exploração e conseqüente intensa interação ar/água/rocha, gerando problemas de contaminação ambiental das águas da ribeira de Bodelhão (Tabela 10.20).

Tabela 10.19 – Nível de concentração de poluentes nas águas do ambiente subterrâneo da mina da Panasqueira

Nível	pH	Cu (ppm)	Zn(ppm)	Fe(ppm)	Mn(ppm)	As(ppm)
Mínimo	3.49	0.02	0.15	0.16	0.05	0.000
Médio	5.16	1.08	6.45	6.15	7.10	0.023
Máximo	7.43	3.16	21.80	23.20	30.40	0.100

Contrariamente, nas águas da mina de Neves Corvo não foram registados estes iões metálicos, devido ao facto de os estudos realizados terem ocorrido na etapa de sondagens e construção de aberturas subterrâneas iniciais, portanto correspondendo à composição química da água ainda não alterada pela exploração.

Tabela 10.20 – Concentração de poluentes caracterizados nas águas da ribeira de Bodelhão

Local Poluentes	Montante da descarga da galeria de Fonte do Masso	Montante da descarga da galeria Fonte do Masso e jusante da descarga da galeria de Salgueira	Jusante da descarga da galeria de Salgueira
PH	5.27	5.16	4.18
Cu	0.04	0.15	3.11
Zn	0.52	1.04	15.80
Fe	0.13	0.03	2.91
Mn	0.09	0.87	8.20
As	0.00	0.00	0.026

10.6.2. Análise da norma portuguesa e peruana

No Peru existem normas de nível nacional que é o Decreto-lei no. 613 - Código del medio Ambiente e Ley General de Minería aprovado pelo Decreto Supremo no. 014-92-EM, cuja norma específica sectorial e mediante a Resolução Ministerial no. 011-96/EM/VMM do 13 de Janeiro de 1996 que define os níveis máximos permissíveis para efluentes das actividades mineiro - metalúrgicas (Tabela 10.21).

Tabela 10.21 – Nível máximo permissível para efluentes das actividades mineiro metalúrgicas

Poluente	Valor em qualquer momento	Valor médio anual
Sólidos em suspensão (mg/l)	100	50
Chumbo (mg/l)	1	0.5
Cobre (mg/l)	2	1
Zinco (mg/l)	6	3
Ferro (mg/l)	5	2
Arsénio (mg/l)	1	0.5
Cianeto total (mg/l)	2	1
pH	6 - 9	6 - 9

No caso de Portugal, a norma que trata da qualidade das águas é o Decreto-lei n.º 236/98 do 1 de Agosto que, em relação aos poluentes considerados pela norma peruana, específica para consumo humano, piscícola e rega (Tabela 10.22) com variação de valores em função do tipo de tratamento físico ou químico no caso de água para consumo humano. Também nas normas portuguesas e peruanas existem diferenças, quanto à forma de especificação e valores limite.

Tabela 10.22 – Valor máximo admissível pela Norma Portuguesa (Decreto Lei n.º 236/98 do 1 de Agosto, Portugal)

Poluente	Consumo humano	Piscicultura	Rega
Sólidos em suspensão (mg/l)	10	25.0	60
Chumbo (mg/l)	0.05	---	20.0
Cobre (mg/l)	0.02 - 1.0	---	5.0
Zinco (mg/l)	0.5 - 5	0.3 - 1.0	10.0
Ferro (mg/l)	0.1 - 0.3	---	5.0
Arsénio (mg/l)	0.01 - 0.05	---	10.0
Cianeto total (mg/l)	----	---	---
pH	5.5 a 9.0	6.0 a 9.0	4.5 a 9.0

Para a determinação do nível do impacte ambiental consideram-se como base os valores limite admissíveis das normas, que para o caso estão indicados nas Tabelas 4.16 e 4.17.

10.6.3. Medidas correctivas do impacte ambiental

A medida correctiva para mitigar o impacte ambiental devido ao caudal de água subterrânea é geralmente um sistema misto de bombagem, drenagem por gravidade e

impermeabilização, ou outras técnicas. No caso da mina de Neves Corvo são usadas por gravidade, bombagem e impermeabilização do leito da ribeira de Oeiras.

A medida correctiva para a mitigação do impacte ambiental pela presença de metais e o pH podem ser processos químicos e/ou biológicos, onde os últimos apresentam menores custos.

10.7. Instabilidade e desabamento de rochas

10.7.1. Caracterização geotécnica do maciço rochoso

As rochas presentes nas áreas de estudo na mina de Neves Corvo são observados na rampa CRAM03 e desmontes Bench and Fill da área Neves Norte e são principalmente do grupo filito – quartzito (PQ) e complexo vulcano -sedimentar (CVS).

Tabela 10.23 – Características geotécnicas gerais do maciço rochoso (Laboratório Nacional de Engenharia Civil L.N.E.C em 1987, C. Dinis da Gama 1992 e cálculos realizados)

Parâmetro	Neves Corvo	Panasqueira
Resistência à compressão uni axial RCU (Mpa)	Rochas grupo PQ 70 – 100 Rochas grupo CVS 160 - 200	Xisto 75 - 125
Densidade (t/m ³)	3.20	2.70
Rock Mass Ratio (RMR)	70	81*
Tunneling Quality Index (Q)	14.5**	40**
Coefficiente de Poisson	0.15 – 0.30	-
Módulo de Young (Mpa)	31.60 – 40.00	62 ***

Determinados aplicando as equações: * (5.7); ** (5.5); *** (5.21)

Na mina da Panasqueira o maciço rochoso é constituído, fundamentalmente, por xistos, os quais apresentam diferentes graus de metamorfismo, originado por uma intrusão granítica subjacente e pelos filões quartzosos.

Na Tabela 10.23 apresentam-se as características geotécnicas gerais do maciço rochoso em estudo das minas de Neves Corvo e Panasqueira.

As características geotécnicas do maciço rochoso das áreas de estudo na mina de Neves Corvo são resumidas na Tabela 10.24 para a área da rampa CRAM03 e na Tabela 10.25 da área do desmonte Bench and Fill Neves Norte.

Tabela 10.24 – Índices geotécnicos do maciço rochoso hospedeiro da rampa CRAM03 na mina de Neves Corvo

Grupo de rocha	RQD	Q	RMR	ECU	RMS
PQ	28 – 90	7 – 22.5	66.2 – 74.7	50 – 170	66.8 – 96.4
CVS	30 - 85	2.5 – 7.1	51.6 – 62.6	70 - 100	30.5 – 45.4

Os tipos de rochas hospedeiras das aberturas nos desmontes de Neves Norte são principalmente dois: tufos vulcânicos com mineral fissural e sulfuretos (Mf) e sulfuretos maciços (Sm). As rochas Sm caracterizadas estão localizadas em cotas de 790 a 810 e o maciço do tipo Mf 760 a 790.

Tabela 10.25 – Características geotécnicas do maciço rochoso hospedeiro do desmonte Bench and Fill Neves Norte da mina de Neves Corvo

Minério	Largura L(m)	Altura H(m)	L/H	Carga/ ECU	ECU (Mpa)	Resit (Mpa)	Pilar	FS
Sm	3 – 10	5	0.6 – 2.0	0.24 – 0.58	200	47 – 117		1.3 – 3.3
Mf	2 - 10	5 - 18	0.2 – 2.0	0.10 – 0.58	160	17 - 94		0.5 – 3.3

10.7.2. Metodologia de avaliação do impacte ambiental subterrâneo

No caso da avaliação do impacte ambiental subterrâneo devido ao desprendimento e instabilidade das rochas, pela sua natureza extremamente complexa, não existe uma norma, e portanto a forma mais recomendável de realizar esta avaliação é procurando padronizar os parâmetros geotécnicos do maciço num local determinado.

No caso da mina de neves Corvo na área da rampa CRAM03 foram identificadas zonas sem impacte ambiental e outras áreas de leve a moderado, com presença dum só trecho com alto impacte ambiental.

10.7.3. Medidas correctivas

As medidas correctivas adoptadas foram com base na metodologia proposta por Barton e Grimstad.

Para o impacte ambiental de nível alto identificado na rampa CRAM03, considerou-se recomendável aplicar pregagens ou cabos de 20 a 25 mm de diâmetro e 3.7 m de comprimento, espaçados a 2.5 m, com uso ocasional de malha e betão projectado de 3 cm de espessura.

A análise dos resultados da aplicação da metodologia de estudo ambiental subterrâneo proposta no capítulo 2 da parte 1, permite obter as *conclusões* seguintes:

a) Os resultados mostraram a plena aplicabilidade da metodologia de estudos de impacte ambiental existentes no ambiente subterrâneo. Esta metodologia considerou para minas em operação os passos principais seguintes:

- o Definição do âmbito de acção;
- o Caracterização da situação do ambiente;
- o Identificação dos níveis de impacte ambiental;
- o Procura e aplicação da medida correctiva;
- o Monitorização e controle.

b) A aplicação desta metodologia não só é para ambientes de minas subterrâneas, podendo ser também aplicada à túneis e aberturas subterrâneas para qualquer fim.

c) As normas existentes para o ambiente subterrâneo são fundamentalmente relativas à segurança e higiene no trabalho e não de carácter ambiental. Existindo importantes diferenças entre os dois países, este facto é um indicativo da existência de abordagens diferentes na definição de valores limites admissíveis de um país a outro.

d) Se esta metodologia é aplicável a projectos mineiros em construção e/ou em operação, também é possível a sua aplicação na elaboração de novos projectos mineiros.

Capítulo 11

APLICAÇÃO A NOVOS PROJECTOS

11.1. Introdução

O estado do ambiente depende das influências conjuntas da atmosfera, clima, processos químicos e biológicos, terrenos e cobertura vegetal, fauna e seres humanos. Estes últimos actuam, com intensidade crescente, nos processos geológicos, geofísicos, químicos e bioquímicos que têm lugar nos solos, nas rochas, nas águas superficiais e subterrâneas e o ar, por vezes pondo em causa a sua integridade e, assim, colocando em risco a qualidade de vida, actual e das futuras gerações.

Esses efeitos nocivos possuem características no espaço e no tempo, que Ehrlich (1995) quantificou pela relação:

$$I = PAT$$

em que I representa a magnitude desses impactes numa dada região da Terra, P a população nela existente, A o consumo médio de recursos por indivíduo e T o correspondente uso de tecnologia prejudicial, não limpa.

No passado, era aceitável projectar obras de engenharia, incluindo a exploração de georrecurso, apenas com base em critérios técnicos e económicos, sem fazer intervir a consequências ambientais daí resultantes. Tal postura modifica-se a cada dia e os próprios critérios de tomada de decisões, como a relação benefício custo, passam a integrar variáveis e parâmetros antes considerados intangíveis, como os de tipo ambiental, estabelecendo assim um novo paradigma, que vai ganhando cada vez mais aceitação na opinião pública e, por consequência no poder político (Dinis da Gama, C., 2000).

É pois inevitável a sua influência nas metodologias e práticas que caracterizam os muitos ramos da ciência e da tecnologia, e a exploração de jazigos minerais mediante métodos subterrânea não parece ser excepção.

As normas ambientais existentes consideram que um estudo de impacte ambiental, ocasionado pela realização dum projecto, obra ou actividade, deve compreender a determinação dos aspectos sobre a vida humana, a fauna, a flora, o solo, o geoambiente, a água, o ar, o clima, a paisagem e a estrutura ou função dos ecossistemas presentes na área previsivelmente afectada. O estudo deve também considerar a acção do projecto, obra ou actividade sobre o património histórico, sobre as relações sociais e as condições da tranquilidade pública, tais como ruído, vibrações, cheiros e emissões luminosas e de qualquer outra incidência ambiental derivada da sua realização.

Portanto, os objectivos estudo de impacte ambiental são diagnosticar e avaliar as consequências que a realização das ditas actividades possam ocasionar no contexto ou meio.

Pretende-se também, que a identificação e avaliação dos impactes sirvam para indicar as possíveis medidas correctivas ou de atenuação de seus efeitos (já que é praticamente impossível erradicar completamente um impacte negativo).

Toda a avaliação dos impactes ambientais deve-se adaptar às normas legais existentes, que englobam leis de nível geral (comunitárias, no caso da União Europeia), nacionais (países) e regionais.

No caso de não existirem normas legais relacionados a algum descritor ou domínio ambiental, como para o geoambiente (rochas), é recomendável tomar como referência padrões que ofereçam rigor, qualidade e fiabilidade.

O estudo de impacte ambiental subterrâneo (EIAS) deve, assim, compreender as possíveis alterações no ambiente subterrâneo ocasionadas pela realização do projecto de exploração mineira, determinando-se os limites dos valores das variáveis que entram em jogo, quer de forma *qualitativa*, quer de forma *quantitativa* (Figura 11.1).

O estudo deverá contemplar uma informação dos impactes sobre o ambiente subterrâneo, para aplicar modelos matemáticos de avaliação, com a finalidade de procurar uma diminuição ou atenuação dos efeitos negativos, conseguindo desta forma uma integração harmoniosa do projecto no meio ambiente.

Assim, o estudo dos impactes no ambiente subterrâneo (EIAS) é um processo de análise para identificar, prever, interpretar, valorar e comunicar o efeito de um plano ou projecto de exploração subterrânea, interpretado em termos de saúde e bem-estar humano.

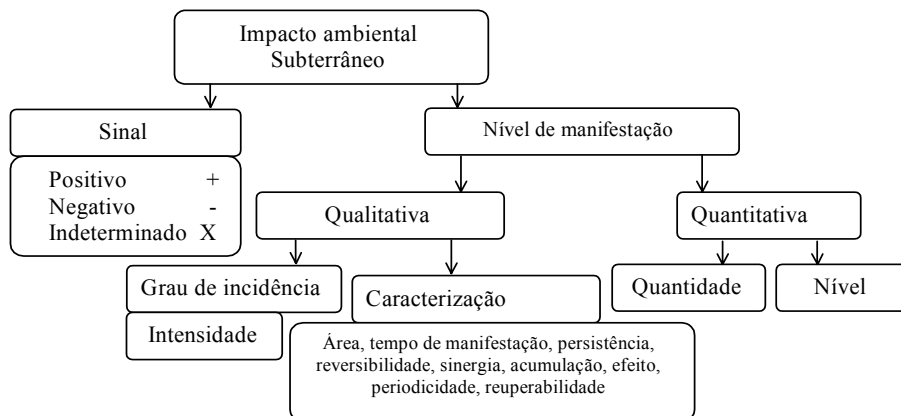


Figura 11.1 – Indicadores que caracterizam o impacte ambiental subterrâneo

11.2. Metodologia Proposta

A metodologia de estudo para projectos novos é baseada na engenharia ambiental subterrânea proposta no Capítulo 2 da Primeira Parte, desenvolvida na Terceira Parte desse livro e nos resultados obtidos na aplicação em duas minas portuguesas e uma peruana, já que mostrou uma excelente aplicabilidade e resultados satisfatórios.

Como o EIAS deve estar destinado a prever, valorizar e corrigir, as consequências ou efeitos ambientais que certas acções humanas podem ocasionar; este

constitui um documento que deve identificar o titular do projecto e na base do qual seja possível obter uma declaração ou avaliação do impacte ambiental. Portanto, o estudo deve identificar, descrever e valorizar de forma apropriada e em função das particularidades de cada caso concreto, os efeitos notáveis previsíveis que a realização do projecto de exploração subterrânea produziria sobre os distintos domínios ambientais.

A figura 11.2 ilustra a proposta da estrutura geral da metodologia e estudo do EIAS para novos projectos de exploração subterrânea e compreende as seguintes etapas:

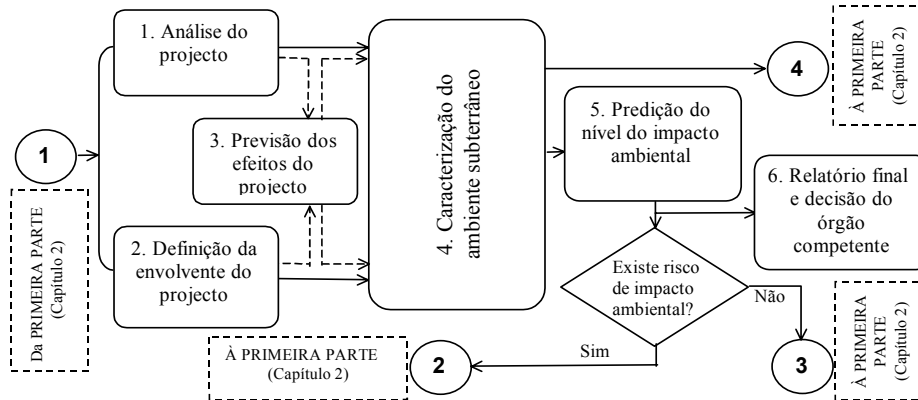


Figura 11.2 – Estrutura geral da EAS aplicada a novos projectos, integrada na figura 2.14

a) *Análise do projecto de exploração subterrânea*, com o objectivo de conhecer em profundidade os detalhes relacionados com a geologia, a mineralogia, as aberturas subterrâneas para operações auxiliares (serviços, extracção, transporte, britagem primário, manutenção de equipamentos, etc.), de desenvolvimento, traçagem, preparação e exploração (rampas, poços, chaminés, galerias, travessas, acessos, métodos de exploração e equipamentos);

b) *Definição do âmbito de acção*, que considera a delimitação da envolvente do projecto no meio subterrâneo e exterior, que tenham relação com os factores ambientais, devendo-se nesta fase obter informação necessária e suficiente para compreender o funcionamento do meio, e sua evolução previsível sem a realização do projecto;

c) *Previsões dos efeitos que o projecto gerará sobre a qualidade de vida, saúde e bem-estar humano*, que consiste na determinação dos efeitos causados pela alteração das condições naturais da atmosfera subterrânea, água subterrânea e maciço rochoso;

d) *Caracterização ambiental*, etapa que compreende a identificação das acções do projecto potencialmente impactantes (uso de equipamentos com motor diesel, perfuração e disparo, escavações em rocha e alteração das condições naturais do maciço rochosos e água subterrânea), identificação dos factores potencialmente impactados (atmosfera subterrânea, água subterrânea e maciço rochoso) e identificação de relações causa – efeito entre acções e factores do projecto;

e) *Predição da dimensão quantitativa do Impacte Ambiental Subterrâneo (IAS)*, esta fase contempla a predição dos possíveis níveis de impacte ambiental que a realização

do projecto ocasionam nos diferentes factores, baseadas nas normas ou padrões existentes;

f) *Definição das medidas correctivas*, consiste na procura dos procedimentos tecnológicos mais adequados para atenuação dos impactes ambientais preditos que sejam economicamente factíveis de aplicar;

g) *Monitorização e controle*, são as etapas que permitirão a sistemática avaliação de possíveis alterações ambientais e a efectividade da aplicação da medida correctiva;

h) *Emissão do relatório final e decisão do órgão competente*.

i) *Elaboração de relatório não técnico destinado ao público e às entidades oficiais*.

11.3. Análise do Projecto de Exploração Subterrânea

11.3.1. Estrutura política, legal e administrativa

Nesta secção devem-se incluir os aspectos políticos, legais e administrativos relacionados com as normas aplicáveis ao projecto. Também será de interesse indicar a situação legal do projecto mineiro, os direitos de água e de superfície aplicáveis e explicar o processo de obtenção da autorização para a sua realização.

11.3.2. Projecto de exploração subterrânea

Neste ponto se desenvolverá uma visão genérica do projecto, relacionando-o interactivamente com o ambiente e portanto, em termos da sua utilização racional, os efeitos sobre o meio.

O projecto de exploração subterrânea de jazigos minerais inicia-se desde a prospecção e descoberta, passando pela investigação e determinação de reservas, desenvolvimento, traçagem, preparação, exploração (produção), abandono e terminando com o fecho da mina (fig. 11.3). O presente estudo abrange as etapas de desenvolvimento, traçagem, preparação e exploração, porquanto são actividades que têm relação com as escavações subterrâneas.

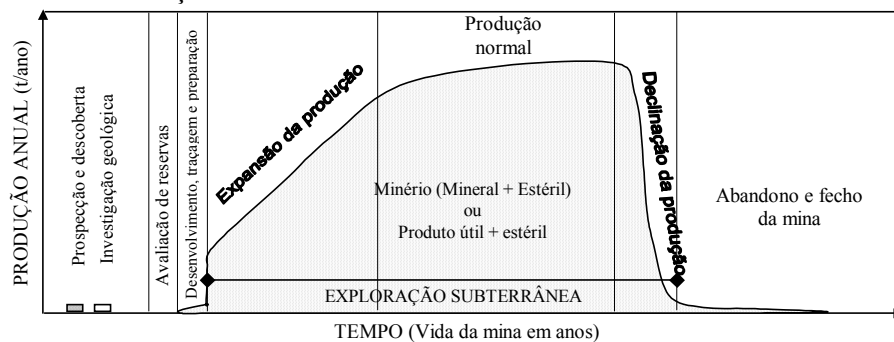


Figura 11.3 – Etapas de um projecto mineiro de exploração subterrânea (baseado em Lacy, W.C., 1992)

A vida da mina começa com uma mínima produção (desenvolvimento, traçagem e preparação), para depois expandir a produção até aos valores normais, até finalmente declinar e fechar a mina. Assim, é útil e importante detalhar os acontecimentos operacionais durante a vida da mina, porquanto permite realizar uma análise detalhada das alterações do envolvente ambiental em cada fase do projecto, de modo que sirva para estabelecer medidas correctivas preventivas, aplicar e efectuar a sua monitorização e controle.

É conveniente incluir de forma resumida o historial da empresa ou entidade promotora, indicando as actividades a que se dedica e o produto que se pretende obter. Esta descrição deve envolver as empresas empreiteiras e subempreiteiras que realizarão o projecto.

Também deverá incluir uma definição de áreas afectadas, tanto negativa como positivamente, as alternativas consideradas para a selecção do método de exploração, localização geográfica, processo produtivo (ciclo operacional, extracção e/ou transporte), nível de produção (toneladas ou m³ por dia, mês ou ano), custos (desenvolvimento, traçagem, preparação e exploração), programa de realização (curto, médio e longo prazo), criação de postos de trabalho nas diferentes etapas e o nível de aceitação pública.

É importante incorporar a cartografia detalhada da localização do projecto indicando pessoas e populações, recursos vegetais e biológicos existentes na área próximas, vias de acesso, serviços de energia eléctrica e meios de comunicação do envolvente potencialmente afectável.

É de muita importância também inscrever o tipo de mineral e produto a obter, os tipos de materiais e equipamentos a utilizar, tanto para a etapa de desenvolvimento, traçagem e preparação, como para a etapa de exploração, assim como os riscos de acidentes, de contaminação e outros parâmetros de interesse.

Esta parte deve incluir estudos sobre os níveis de consumo de água, de matérias-primas, consumíveis, etc., e a sua relação como a zona, principalmente quanto à procedência e geração de efeitos colaterais: produtos intermédios finais e subprodutos assim como o seu provável destino; tipo e quantidade de emissões e resíduos; e também previsões de ampliação/redução a médio e longo prazo, e finalmente o abandono e fecho de mina.

11.3.3. Operações e autorizações existentes

No caso de o projecto ser uma ampliação ou extensão de uma operação existente, então deve-se incluir uma descrição das instalações actuais, assim como o historial das operações e das autorizações aplicáveis na actualidade e as autorizações legais para a operação futura. A descrição deve considerar dois aspectos fundamentais:

- a) Estabelecer o aspecto legal que existia quando a operação do projecto começou;
- b) Estabelecer claramente os requerimentos legais para autorização das novas actividades provocadas pela ampliação da produção.

11.4. Definição do âmbito de acção do projecto

Em superfície compreende as zonas próximas dos acessos principais ao ambiente subterrâneo e as zonas de descarga dos poluentes ambientais como a drenagem de água ácida, ar poluído e a subsidência ou desabamento do maciço rochoso que poderá atingir a superfície.

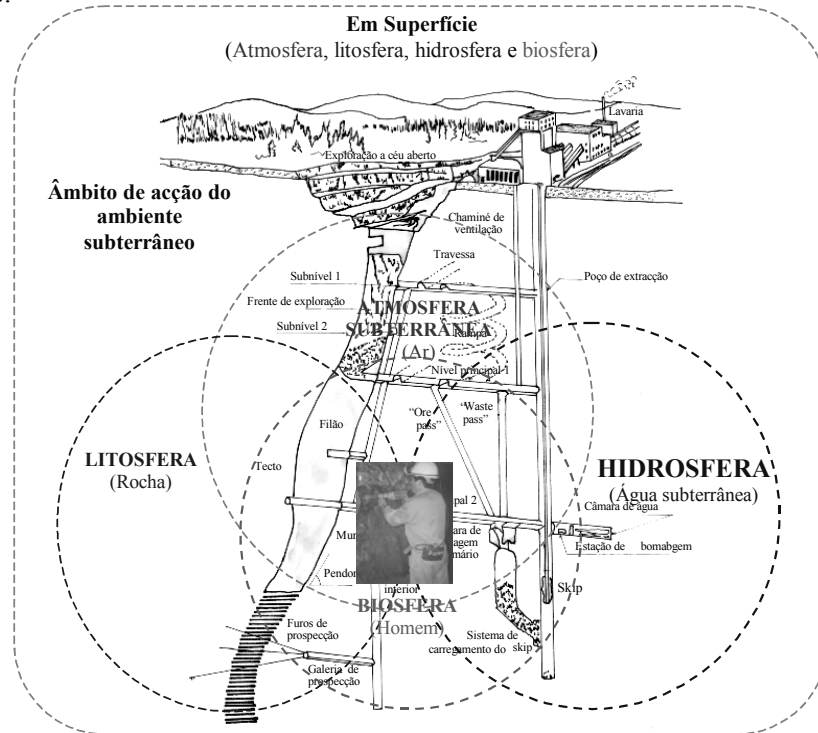


Figura 11.4 – Âmbito de acção do estudo de impacto ambiental subterrâneo (baseado em O Llanque, V. Navarro, et al 1999 e Dinis da Gama, C., 2000)

No ambiente subterrâneo a envolvente do projecto de exploração (fig. 11.4) abarca os domínios da atmosfera subterrânea (ar por ventilação natural ou artificial), a litosfera (maciço rochoso), a hidrosfera (água subterrânea) e a biosfera (homem principalmente).

11.5. Caracterização do Ambiente Subterrâneo

A descrição geral do meio tem a finalidade de definir o estado de referência ou condição pré-operacional que permita determinar as potenciais alterações que provocará a realização do projecto e serve como base de dados inicial. Portanto, deve incluir o meio físico tanto *inerte* (ar, clima, água superficial e subterrânea e maciço rochoso), como *biológico* (fundamentalmente o homem), mas deve-se incluir o ecossistema biológico exterior que poderá ser afectado pela descarga de águas ácidas de mina, escombros ou subsidência.

Com base nestes dados será possível determinar a capacidade do meio ambiente para suportar as actuações que nele terão lugar, em consequência da realização do projecto de exploração subterrânea.

11.5.1. Ambiente físico

A descrição do meio físico do âmbito de acção do projecto deve ser em termos de:

a) *Localização e topografia superficial*: deve-se considerar informação necessária e suficiente (fig. 11.5) para localizar o projecto e definir a possível influência da topografia nos factores do ambiente subterrâneo e a possível influência das alterações dos factores ambientais do meio subterrâneo no ambiente exterior próximo.

b) *Clima e meteorologia*: as informações do clima e meteorologia da área do projecto são importantes para a avaliação do impacte ambiental subterrâneo na parte relacionada ao meio físico, ar presente na atmosfera subterrânea, devido a que factores tem influência na sua temperatura, velocidade e caudal (fig. 11.6).

Estes dados serão úteis como condição de referência, para definir a carga hídrica, o efeito de condições críticas ou extremas, para identificar o impacte ambiental subterrâneo e procurar medidas correctivas.

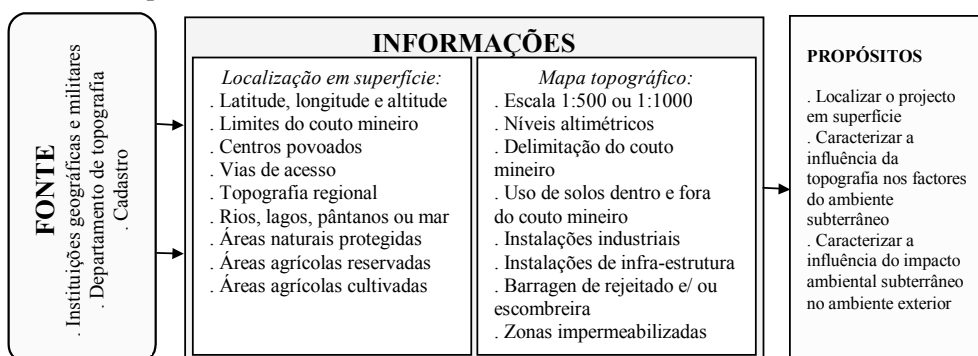


Figura 11.5 – Informação da localização e topografia superficial do projecto

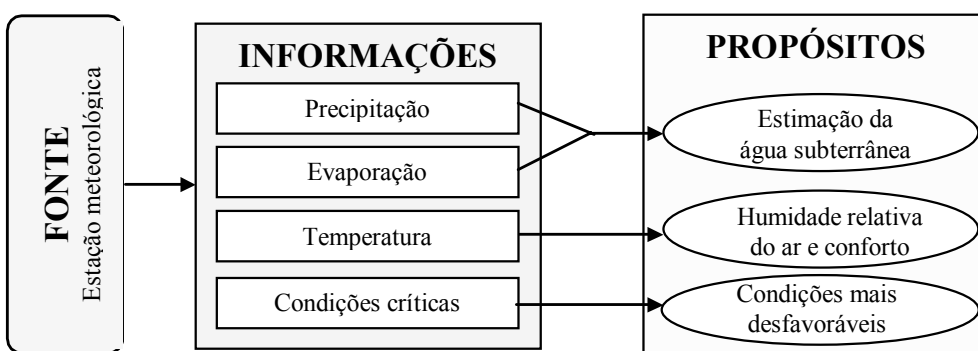


Figura 11.6 – Informações do clima e meteorologia da área do projecto

c) *Qualidade do ar*: as informações sobre a qualidade do ar (fig. 11.7) serão relacionados com possíveis partículas transportadas pelo ar, como por exemplo erosão eólica e emissões gasosas provenientes de alguma fonte (viaturas com motor diesel, refinaria existente, etc.).

No caso de projectos de ampliação, as partículas transportadas pelo vento poderão ter origem em escavações, disparos com explosivo, remoção, transporte, transferência do material e as emissões gasosas produto da combustão de equipamentos diesel.

Para projectos novos, serão necessárias amostragens e análise respectiva, mas para projectos de ampliação é provável que já existam as informações pretendidas.

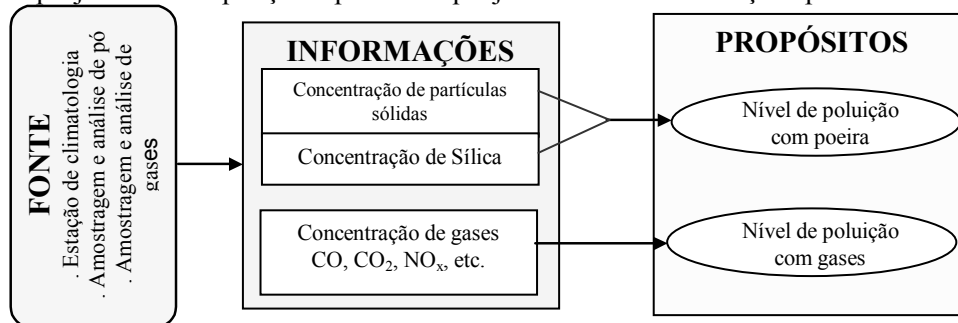


Figura 11.7 – Informações para a caracterização de referência do ar na zona das entradas de ar ao ambiente subterrâneo

d) *Geologia e aspectos sísmicos*: em relação à geologia, o EIAS deve incluir a geologia regional, geologia local, geotecnia e geomecânica do maciço rochoso e jazigo mineral além das informações relacionadas com o depósito mineral (fig. 11.8). Deve conter mapa geológico regional, mapa geológico local com detalhes relacionados com o maciço rochoso, jazida mineral e geologia estrutural.

e) *Água superficial e subterrânea*: a água constitui um domínio ambiental complexo e dinâmico pelo que, para estabelecer as condições de referência requer ter informação da superfície e do meio subterrâneo, tanto no aspecto quantitativo como qualitativo (fig. 11.9).

A água subterrânea pode estar localizada a pouca profundidade e neste caso existirá uma significativa interacção com a água superficial, mas quando está localizada a maior profundidade poderá acontecer uma mínima ou nenhuma interacção. Os problemas de impacte ambiental devidos à água estão relacionados com o potencial de inundações e contaminação de águas superficiais, pela descarga da drenagem ácida.

Tanto no caso de águas superficiais como subterrâneas, os parâmetros potenciais da qualidade da água a caracterizar (Tabela 11.1) estão relacionados com as características físicas e químicas.

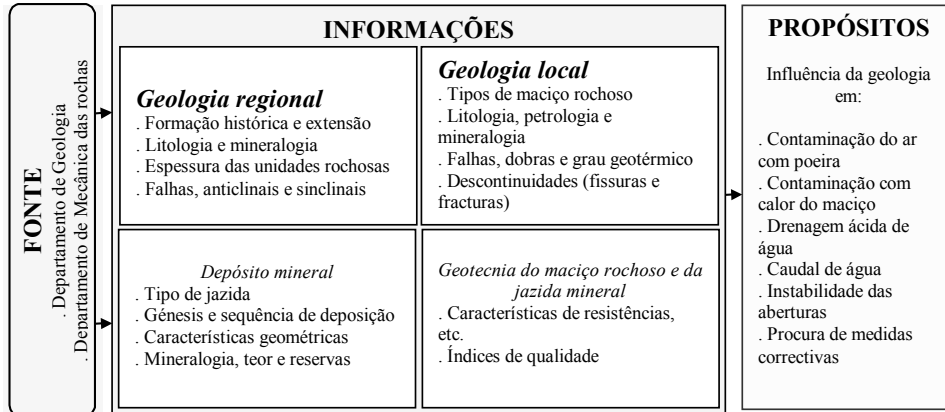


Figura 11.8 – Informações para a determinação das condições de referência do maciço rochoso

As informações necessárias relacionadas com águas subterrâneas (fig. 11.10) para a definição da situação de referência são orientadas fundamentalmente a quantidade e qualidade.

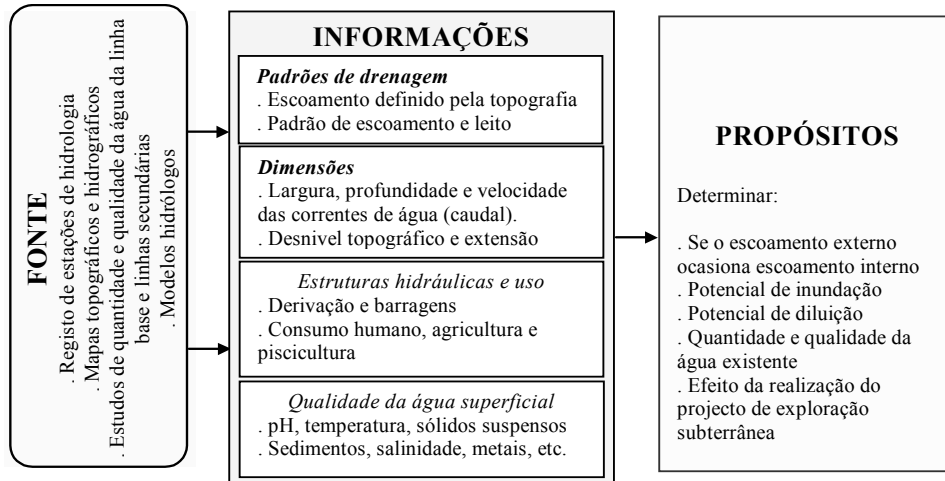


Figura 11.9 – Informações para caracterização das condições de referência da água superficial

Tabela 11.1 – Parâmetros potenciais na caracterização da qualidade da água

Constituinte principal		Metais (totais e dissolvidos)	
PH	Sódio (Na)	Alumínio (Al)	Manganés (Mn)
Sólidos totais dissolvidos	Potássio (K)	Antimónio (Sb)	Mercúrio (Hg)
Cheiro	Cloreto (Cl)	Arsénio (As)	Níquel (Ni)
Alcalinidade	Sulfato (SO ₄ ⁻²)	Bário (Ba)	Selénio (Se)
Cálcio (Ca)	Fluoreto (F)	Cádmio (Cd)	Prata (Ag)
Magnésio (Mg)	Nitrato (NO ₃ ⁻)	Cobre (Cu)	Tálio (Tl)
	Fosfato (PO ₄ ⁻³)	Ferro (Fe)	Zinco (Zn)
	Cianeto (CN ⁻)	Chumbo (Pb)	

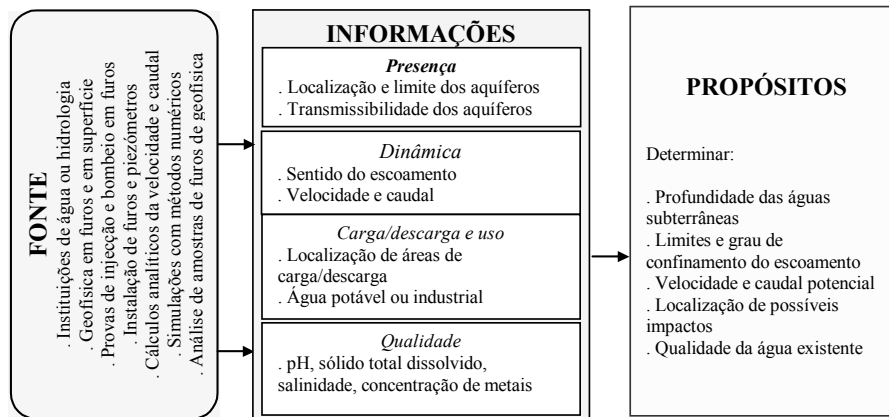


Figura 11.10 – Informações para a caracterização da situação de referência de água subterrânea

f) *Características das escavações subterrâneas*: a abertura de espaços vazios no maciço rochoso é a causa principal que provoca a alteração dos domínios ambientais no meio subterrâneo. Os espaços abertos serão produto da abertura de poços, chaminés, rampas, galerias, travessas, acessos e desmontes para a exploração do depósito mineral, pelo que tem que ver com o método de exploração a utilizar. Portanto é sumamente importante detalhar as características geométricas e físicas de estas aberturas, considerando também as comunicações entre elas e a sua localização (fig. 11.11).

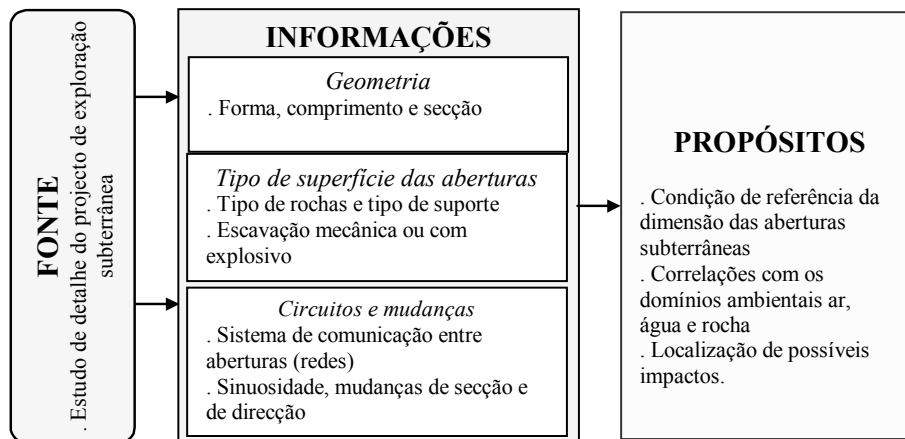


Figura 11.11 – Informações para a caracterização das aberturas subterrâneas

11.5.2. Ambiente biológico

O domínio biológico principal presente no ambiente subterrâneo, será o homem, quando proceda à realização do projecto de exploração subterrânea, portanto é sumamente importante considerar o programa de distribuição do pessoal nas frentes de trabalho, para todas as etapas do projecto e as actividades que o pessoal realizará e assim como o tempo de permanência (fig. 11.12).

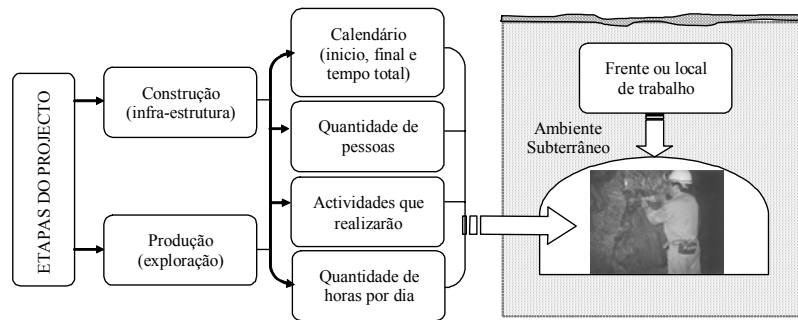


Figura 11.12 – Condições de referência do homem no ambiente subterrâneo

Os domínios ambientais físicos no ambiente subterrâneo que são: o ar, a água e a rocha; poderão alterar o ecossistema do ambiente exterior em zonas próximas da descarga (ar poluído e água ácida) e na área superior superficial do maciço rochoso (subsidência). Portanto é essencial caracterizar o ecossistema terrestre e aquático (fig. 11.13).

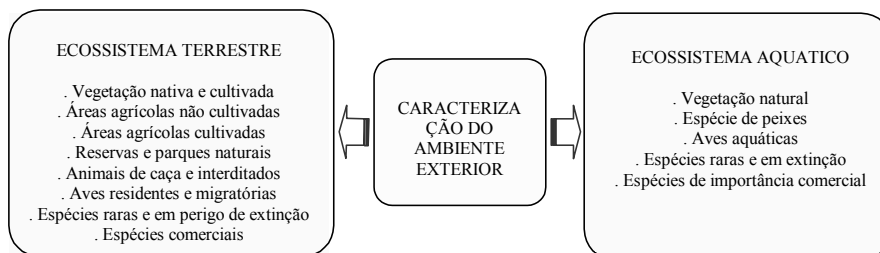


Figura 11.13 – Condições de referência do ambiente exterior próximo à descarga dos domínios ambientais poluídos e áreas superficiais por acima dos trabalhos subterrâneos

11.5.3. Matriz de impactes

11.5.3.1. Identificação das acções que podem causar impactes

O âmbito do projecto de exploração subterrânea, é constituído por elementos e processos interrelacionados, que pertencem ao sistema físico (ar na atmosfera subterrânea, água subterrânea e maciço rochoso) e biológico (homem). No meio biológico também se devem considerar os animais e plantas na zona de descarga dos domínios ambientais poluídos (água ácida, ar poluído, subsidência).

As acções e efeitos serão determinados pela *sua intensidade, a sua extensão, a sua persistência, a sua reversibilidade, a sua recuperabilidade e o momento* em que participam no processo.

De entre as muitas acções susceptíveis de produzir impactes (Figuras 11.14, 11.15, 11.16 e 11.17), devem-se estabelecer duas relações definitivas, uma para cada etapa do projecto, ou seja acções que podem provocar impactes na etapa da construção ou instalação e acções que podem provocar impactes durante a etapa da exploração ou produção. Para a avaliação do impacte de alguns domínios ambientais como o caso da

drenagem ácida será indispensável considerar uma relação correspondente à etapa de abandono e fecho de mina.

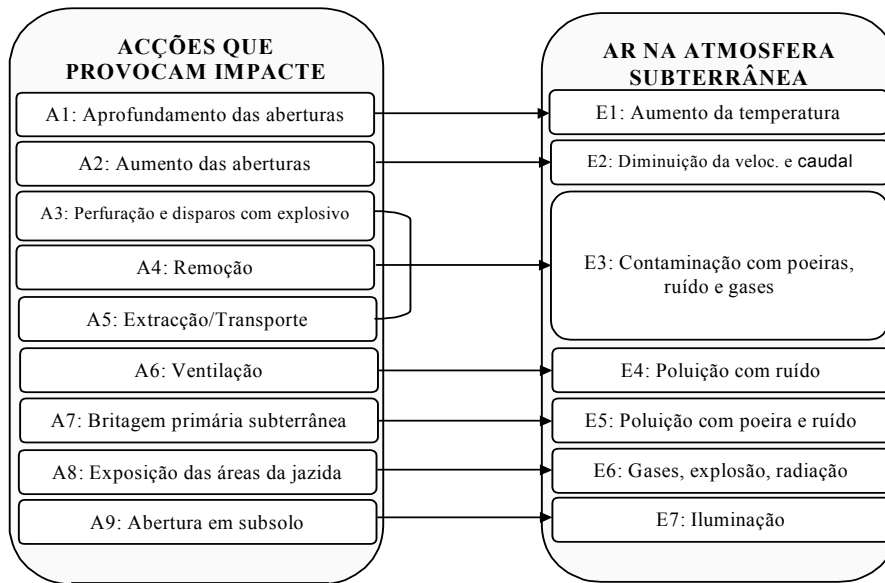


Figura 11.14 – Acções que provocam o impacte ambiental no ar da atmosfera subterrânea

Nas figuras apresentam as acções que provocam o impacte e os efeitos ambientais a seguir quer para o domínio físico do ambiente quer para o domínio biológico no meio subterrâneo (homem) ou quer para o domínio biológico no meio exterior (homem, animais e áreas agrícolas).

Como se poderá ver existem várias acções que podem provocar só um efeito ou uma acção que pode provocar vários efeitos no meio físico ou biológico, ou então uma acção provocar um impacte ambiental quer no meio físico quer no meio biológico.

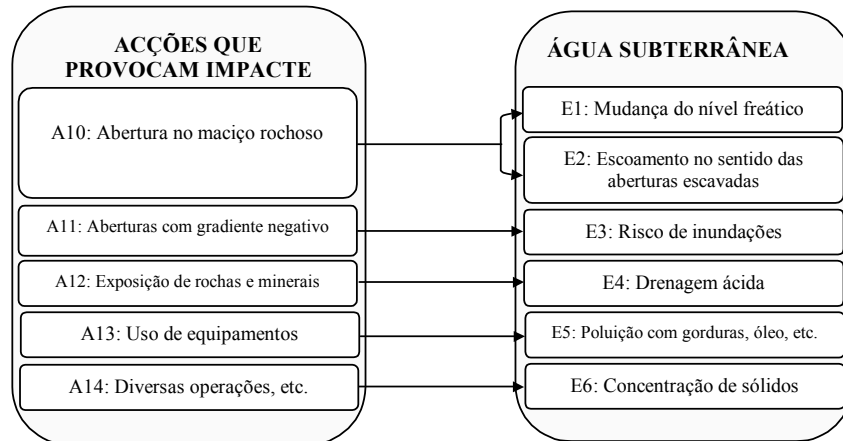


Figura 11.15 – Acções que provocam impacte ambiental na água subterrânea

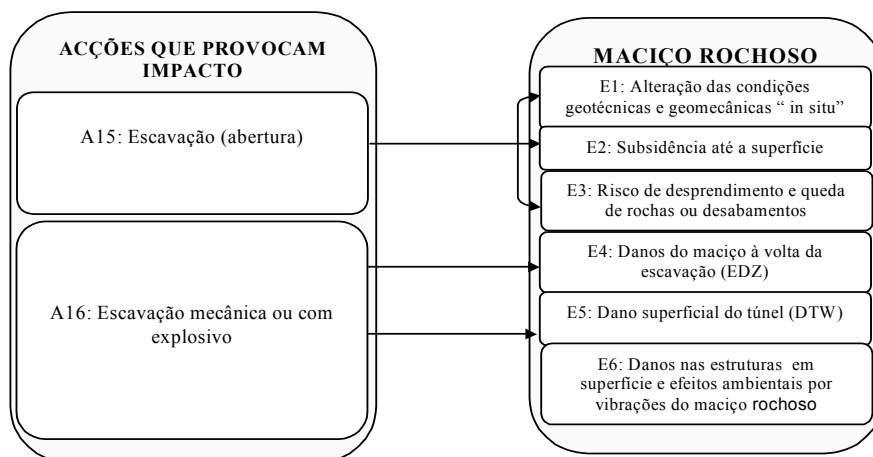


Figura 11.16 – Acções que provocam impacte ambiental no maciço rochoso

O estabelecimento das acções e efeitos permitirá elaborar uma matriz de impactes ambientais e baseados nesta matriz quantificar o nível do possível impacte ambiental esperado.

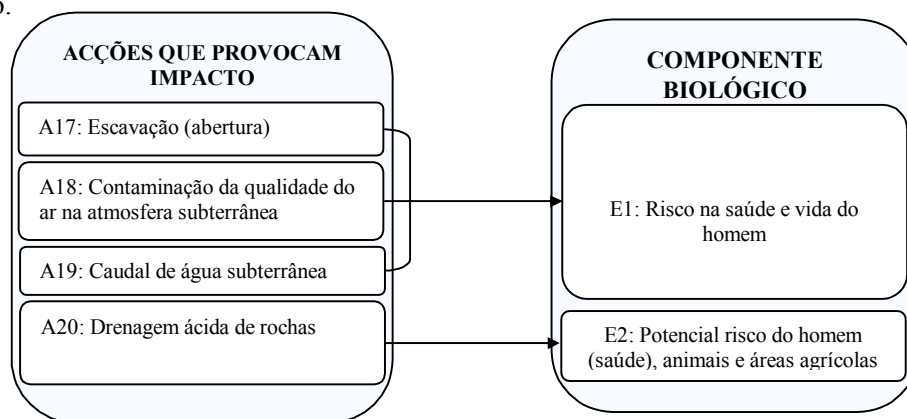


Figura 11.17 – Acções que provocam impacte ambiental no domínio biológico

11.5.3.2. Matriz de impactes ambientais

A matriz de impactes é do tipo causa/efeito que é uma tabela de dupla entrada, com as acções que provocam impactes nas colunas e dispostos em linhas os factores susceptíveis de receber impactes (Tabela 11.2). A matriz permitirá *identificar, prevenir e comunicar* os efeitos do projecto no ambiente subterrâneo, para depois obter seus valores correspondentes.

Uma vez identificados os factores do ambiente susceptíveis de serem receber impactes é conveniente conhecer seu estado actual, antes de se realizar o projecto, ou seja, a qualidade ambiental que pode vir a ser alterada. As medidas dessa qualidade ambiental são conhecidas como *valor ambiental*.

A avaliação dos efeitos num instante considerado (antes e depois do impacte) fornece uma ideia do grau de nível que apresenta o ambiente, quer qualitativa quer quantitativamente.

Os efeitos dos factores ambientais avaliam-se com base na sua possibilidade de medição e classificam-se conforme a Tabela 11.3.

Tabela 11.2 – Matriz para a identificação do impacte ambiental subterrâneo para as etapas de construção ou instalação e produção ou exploração

FACTORES IMPACTADOS (j)		(i) ACÇÕES QUE PROVOCAM IMPACTE AMBIENTAL SUBTERRÂNEO (*)																					
		A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8	A 9	A 10	A 11	A 12	A 13	A 14	A 15	A 16	A 17	A 18	A 19	A 20		
COMPONENTE FÍSICO	AT. SUBT. (AD)	E1	⊗																				
		E2		⊗																			
		E3			⊗	⊗	⊗																
		E4						⊗															
		E5							⊗														
		E6								⊗													
		E7									⊗												
	ÁGUA SUBT.	E1									⊗												
		E2									⊗												
		E3										⊗											
		E4											⊗										
		E5												⊗									
		E6													⊗								
	ROCHA	E1														⊗							
		E2														⊗							
		E3														⊗							
		E4															⊗						
		E5																⊗					
E6																		⊗					
BIO. * BIO. *	E1																	⊗	⊗	⊗			
	E2																				⊗		

⊗ Identificação da causa e efeito, BIO. = Componente biológico, * Acções identificadas no item 11.5.3.1

Tabela 11.3 – Classificação dos efeitos sobre os factores do meio com base na sua possibilidade de serem medidos

EFETOS SOBRE FACTORES DO MEIO	DESPREZÁVEL			MEDÍVEIS	
	QUANTIFICÁVEL	Directamente			
		Mediante um índice ou modelo			
	QUALITATIVOS	Critérios objectivos de quantificação	Escalas proporcionais		Parte não medível
			Escalas jerárquicas		
Critérios subjectivos		Escala de preferências			
Estritamente qualitativos	Outros critérios subjectivos				

Na quantificação directa, a avaliação não oferece problemas, mas mediante um índice ou indicador precisa de um processo que oferece alguma dificuldade na determinação da unidade de medida (Tabela 11.4). Para a quantificação dos parâmetros

nos domínios ambientais do meio subterrâneo existem no mercado instrumentos de medição de alta precisão.

Tabela 11.4 – Avaliação quantitativa dos parâmetros do ambiente subterrâneo

Domínio ambiental	Parâmetros ambientais	Directamente	Mediante um índice
Atmosfera subterrânea	Velocidade do ar	m/s	Índice de conforto
	Temperatura seca e húmida	°C	
	Humidade relativa	%	
	Concentração de poeira	mg/m ³	Índice da qualidade do ar
	Gases (% ou ppm)	%, ppm, µg/m ³	Índice da qualidade do ar
	Ruído	dB(A)	Nível sonoro contínuos equivalente
	Explosão	-	Índice de risco
	Incêndio	-	Índice de risco
	Radiação	pCi/m ² s	WL (Working Level)
	Iluminação	Lux (lm/m ²)	-
Água subterrânea	Velocidade	m/s	-
	Concentração de sólidos	mg/m ³	-
	Acidez	pH	-
	Alcalinidade	-	Índice de alcalinidade
	Condutividade	µSiemens/cm	-
	Concentração de metais	ppm, µg/m ³	-
Maciço rochoso	Tensão <i>in situ</i>	$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ (Mpa)	-
	Resistência a compressão	MPa	-
	Resistência à tracção	MPa	-
	Deformação <i>in situ</i>	GPa	Módulo de Young
	Velocidade sísmica	(m/s)	-
	Qualidade da rocha	-	RQD, Q, RMR, RMS,
	Densidade	Kg/m ³	-
Velocidade crítica vibratória	m/s	-	

Com base em medições quer *in situ* quer no laboratório, é possível quantificar directamente o parâmetro desejado ou mediante esta informação, utilizando algum modelo matemático. A quantificação é uma forma mais recomendável de avaliar os efeitos dos factores ambientais.

Na avaliação qualitativa usam-se critérios objectivos e subjectivos baseado no grau de manifestação qualitativa do efeito que é denominado *importância do impacte*.

Este aspecto pode ser representado mediante uma relação que expresse qualitativamente o impacte ambiental em função do nível de incidência ou intensidade da alteração produzida além da caracterização do efeito, que corresponde a uma série de atributos de tipo qualitativo como: tipo de efeito; tempo de manifestação; persistência; reversibilidade; recuperabilidade; sinergia; acumulação e periodicidade, cuja interpretação deve ser em termos de *saúde e bem-estar humano*.

Outra forma de avaliação é com base em *unidades de importância* (UIP) que considera um valor predeterminado de 1000 unidades para as condições de referência do ambiente.

A importância do impacto ambiental (IIA) toma valores entre 13 a 100 e permite estabelecer níveis qualitativos (Tabela 11.5).

Tabela 11.5 – Níveis de impacto ambiental subterrâneo com base na importância

Importância do impacto ambiental IIA	Níveis de impacto ambiental
IIA <25	Compatíveis ou baixos
25 ≤ IIA ≤ 50	Moderados
50 < IIA ≤ 70	Severos
IIA > 70	Críticos

Os atributos considerados para determinar a importância do impacto ambiental (Tabela 11.6) correspondem a normas relacionadas com a avaliação do impacto ambiental exterior.

11.6. Predição do Impacto Ambiental

Nesta parte do EIAS deve-se identificar todos os impactos ambientais potenciais associados com as actividades do projecto, expressando-o em escalas ou níveis de impacto relativamente em cada domínio ambiental.

Tabela 11.6 – Importância do impacto ambiental (baseado em Conesa, V., 1997)

NATUREZA		INTENSIDADE (INT) (Grau de destruição)	
. Impacte favorável	+	. Baixa	1
. Impacte prejudicial	-	. Média	2
		. Alta	4
		. Muito alta	8
		. Total	12
EXTENSÃO (EXT) (Área de influência)		MOMENTO (MOM) (Prazo de manifestação)	
. Pontual	1	. Longo prazo	1
. Parcial	2	. Médio prazo	2
. Extenso	4	. Curto prazo	4
. Total	8	. Crítico	(+4)
. Crítica	(+4)		
PERSISTÊNCIA (PER) (Permanência do efeito)		REVERSIBILIDADE (REV) (Reconstrução do factor afectado)	
. Fugaz	1	. Curto prazo	1
. Temporal	2	. Médio prazo	2
. Permanente	4	. Irreversível	4
SINERGIA (SIN) (Regularidade da manifestação)		CUMULAÇÃO (ACM) (Aumento progressivo)	
. Semsinergismo (simples)	1	. Simples	1
. Sinérgico	2	. Cumulativo	4
. Muito sinérgico	4		

**Tabela 11.6 (cont.)– Importância do impacte ambiental
(baseado em Conesa, V., 1997)**

EFEITO (EFE) (relação causa – efeito)		PERIODICIDADE (PER) (Regularidade da manifestação)	
. Indirecto (secundário)	1	. Irregular ou descontínuo	1
. Directo	4	. Periódico	2
		. Contínuo	4
RECUPERABILIDADE (REC) (Reconstrução por meios humanos)		IMPORTÂNCIA DO IMPACTE AMBIENTAL (IIA)	
. Recuperável de forma imediata	1	$IIA = \pm (3INT + 2EXT + PER + SIN + EFE + REC + MOM + REV + ACM + PER)$	
. Recuperável aprazo médio	2		
. Mitigável	4		
. Irrecuperável	8		

O impacte do projecto sobre o ambiente é a diferença entre a situação do meio futuro modificado e a situação de referência, em consequência da realização do projecto. Mas não basta conhecer a possível modificação, o mais importante é determinar a margem de tolerância desta alteração ambiental, determinando o grau ou nível de impacte provocado, que definirá o risco a provocar-se para a *saúde e bem-estar humanos*.

Portanto, é imprescindível ter um marco de referência dos valores máximos permissíveis que são constituídos pelas normas legais em vigor e padrões existentes. Os padrões deverão ter um suporte técnico/científico que ofereça confiança, podendo para alguns parâmetros ambientais ter carácter internacional.

11.6.1. Predição do impacte ambiental na atmosfera subterrânea

11.6.1.1. Impacte ambiental térmico

A predição do impacte ambiental térmico está relacionada com as temperaturas exterior, de autocompressão, o grau geotérmico do maciço rochoso, a emissão do calor de equipamentos diesel, a detonação de explosivos e as das águas termais e de calor do metabolismo humano.

É necessário realizar esta avaliação quando existe uma das situações seguintes: em minas pouco profundas com presença de água termal que eleve a temperatura da atmosfera subterrânea a níveis não admissíveis e em minas profundas com ou sem a presença de água termal.

Do ponto de vista térmico, as minas pouco profundas e profundas podem ser definidas segundo se mostra na Tabela 11.7, que se baseia na temperatura máxima de conforto humano que (29 °C na Tabela 3. 9), resultados obtidos na mina de Neves Corvo e San Rafael (Tabela 10.4) e grau geométrico de diversas minas de mundo (Tabela 3.1) incluindo o de Neves Corvo (3.3 °C/100 m) e San Rafael (1.53 °C/100 m).

Nos estudos realizados foi possível quantificar que a influência do grau geotérmico na temperatura da atmosfera subterrânea varia de 85.1% a 90.4% (Tabela 10.2) para as minas estudadas, podendo-se classificá-las como minas pouco profundas.

Na proposta de classificação das minas, as profundidades variam de uma mina a outra pelo facto da variação do grau geotérmico de cada zona.

Tabela 11.7 – Tipificação da profundidade duma mina segundo a temperatura da atmosfera subterrânea influenciada pelas propriedades térmicas do maciço rochoso

Tipo de mina	Temp. seca (T_s)*	Profundidade (m)	
		Rochas	Rocha + eq. diesel + outro
Pouco profunda	$T_s < 29^\circ\text{C}$	<850 a 1600 m ou mais	<750/1500 m
Profunda	$T_s \geq 29^\circ\text{C}$	> 850 a 1600 m ou mais	>750/1500 m

* A temperatura seca do ambiente de ar com velocidade crítica (0.5 a 0.8 m/s).

Em relação à *temperatura exterior*, baseados nos estudos experimentais realizados, pode-se definir no sentido seguinte:

a) Para minas localizadas em zonas onde a temperatura média mensal é $\leq 6^\circ\text{C}$ não é necessário considerar este parâmetro, porque a sua influência no ambiente subterrâneo é nula ou insignificante;

b) Para minas localizadas em zonas onde a temperatura média mensal é $> 6^\circ\text{C}$ deve-se considerar este parâmetro na predição do impacte ambiental térmico usando a equação 10.1, que se baseia na temperatura seca.

Para o cálculo da temperatura total no ambiente subterrâneo no item 3.1 do Capítulo 3 da segunda parte do presente estudo foi desenvolvido o modelo matemático correspondente, cujas equações finais permitem determinar o acréscimo da temperatura por diversas fontes (Tabela 11.8).

Nesta parte do estudo, também foi desenvolvido o modelo matemático para determinar a temperatura em diversas condições de redes de ar nas aberturas subterrâneas (Tabela 11.8 e Tabela 11.9). Para maior detalhe dos parâmetros intervenientes recomenda-se ver no item 3.1 do capítulo 3.

As equações mostram uma alta complexidade no processo de cálculo, que mediante procedimento convencional torna-se tedioso, portanto, precisa-se desenvolver um programa de computador que facilite o cálculo. Neste programa é recomendável incluir não só a predição do impacte ambiental térmico mas também as medidas correctivas, monitorização e controle. O objectivo do presente trabalho de investigação não é exactamente este, mas na fig. 11.18 propõe-se o diagrama base.

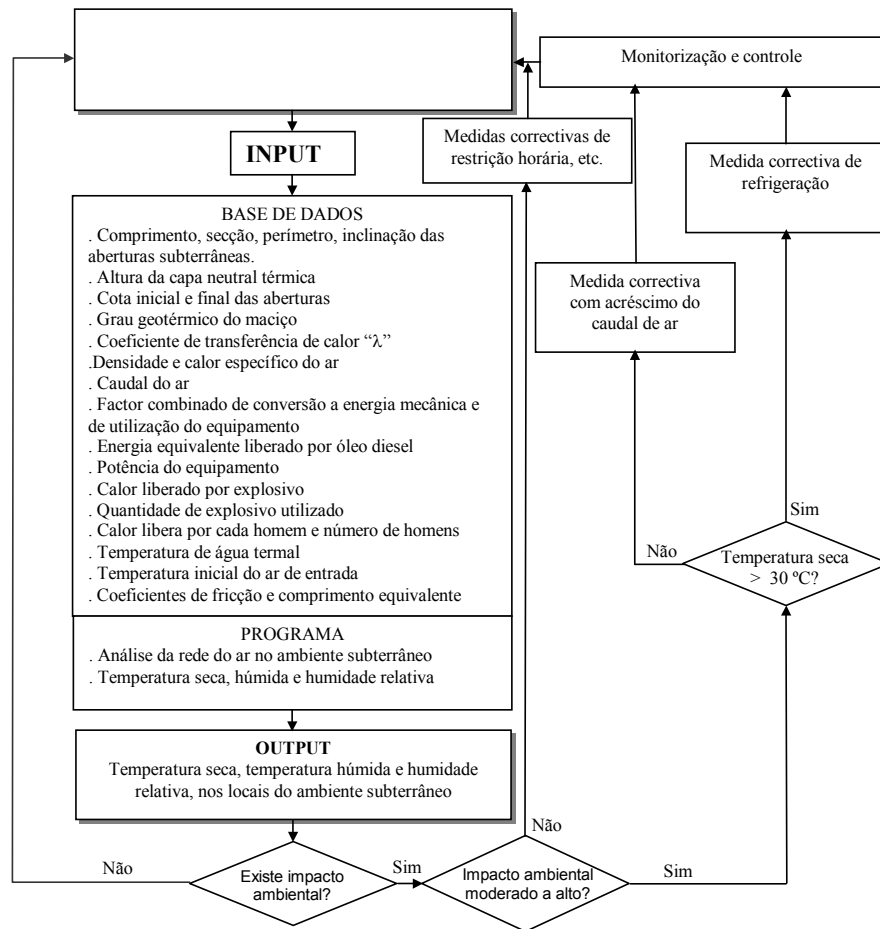


Figura 11.18 – Diagrama geral do programa para a previsão do impacte ambiental térmico, medidas correctivas, monitorização e controle

Uma vez estimada a temperatura do ar da atmosfera subterrânea, precisa-se prever o possível nível de impacte ambiental térmico, sendo para esta tarefa usada a matriz base desenvolvida e apresentada na Tabela 3.10, com alguma modificação consoante a norma ou padrão a utilizar.

Tabela 11.8 – Equações que permitem calcular o acréscimo (alteração) da temperatura no ambiente subterrâneo

Fonte de calor	Equação	Número
Temperatura exterior	$VTS = 0.2005TE - 1.1305$, para $TE \geq 6\text{ }^\circ\text{C}$	10.1
Autocompressão	$\Delta t_{ha} = 0.0098.L.sen\alpha$	3.1
Grau geotérmico da rocha virgem	$\Delta t_r = t_2 - t_1 = \frac{\lambda.P.L.(h_1 - h_{tcn} \pm L.sen\alpha)}{g_g(\lambda.P.L + 2000.\rho_a.C_e.Q)}$	3.6

Tabela 11.8 (cont.) – Equações que permitem calcular o acréscimo (alteração) da temperatura no ambiente subterrâneo

Fonte de calor	Equação	Número
Equipamentos com motor diesel	$\Delta t_{ed} = \frac{f_m \cdot f_t \cdot q_d \cdot p_d}{\rho_a \cdot C_e \cdot Q}$	3.10
Detonação do explosivo	$\Delta t_{ex} = \frac{c_e \cdot e_u}{86400 \cdot \rho_a \cdot C_e \cdot Q}$	3.11
Metabolismo humano	$\Delta t_{he} = \frac{q_h \cdot n}{\rho_a \cdot C_e \cdot Q}$	3.12
Água termal	Medição <i>in situ</i>	-
Acréscimo total	$\Delta t_{total} = \Delta t_{ha} + \Delta t_r + \Delta t_{ed} + \Delta t_{ex} + \Delta t_{he} + \Delta t_t$	3.15

11.6.1.2. Impacte ambiental volumétrico e dinâmico

A predição deste impacte está relacionada com o caudal e velocidade do ar na atmosfera subterrânea.

O caudal total mínimo de ar requerido para a realização dum projecto de exploração subterrânea deve ser calculado considerando o caudal mínimo em cada local de trabalho (fig. 11.19).

O caudal mínimo deverá ser calculado aplicando a equação (3.73) (consoante a norma em vigor) ou aplicando a equação (3.58) segundo a padrões de qualidade do ar.

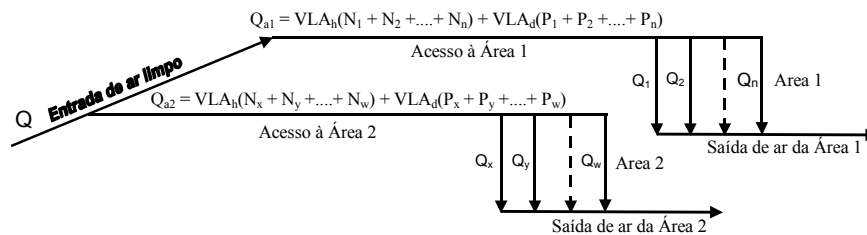


Figura 11.19 – Caudal mínimo total de ar e caudais mínimos nos distintos locais do ambiente subterrâneo

Tabela 11.9 – Equações para calcular a temperatura nas redes de ar do ambiente subterrâneo

Tipo de aberturas	Equação	Número
Junção	$t_f = \left(\frac{R_{eq}}{R_{i-f}}\right)^{0.5} (t_i + \Delta t_{i-f}) + \left(\frac{R_{eq}}{R_{i1-f}}\right)^{0.5} (t_{i1} + \Delta t_{i1-f})$	3.14
Recto	$t_f = t_i + \Delta t_{i-f}$	3.16
Disjunção	$t_f = t_i - \Delta t_{i-f1} \left(\frac{R_{i-f}}{R_{i-f1}}\right)^{0.5} \quad \text{e} \quad t_{f1} = t_i - \Delta t_{i-f} \left(\frac{R_{i-f1}}{R_{i-f}}\right)^{0.5}$	3.18 e 3.19

Para o modelo genérico considera-se a aplicação da equação (3.73), portanto, na rede de ar Q_{a1} é o caudal mínimo total necessário para a área de trabalho 1 e Q_{a2} para a área de trabalho 2, VLA_h é a quantidade mínima de ar para cada homem definido pela norma legal ($m^3/s.homem$), $N_1, N_2, \dots, N_n, N_x, N_y, \dots, N_w$ são o número de homens presente em cada local de trabalho, VLA_d é a quantidade mínima de ar por cada hp de motor diesel utilizado, definido também pela norma legal ($m^3/s.hp$) e $P_1, P_2, \dots, P_n, P_x, P_y, \dots, P_w$ são as potências (hp) de motor diesel usado em cada local de trabalho.

Sendo N o número máximo total de homens requeridos e P o total de HP de potência dos motor diesel a utilizar no projecto, os caudais mínimos requeridos em distintos locais para a realização do projecto podem ser determinados pelas equações indicadas na Tabela 11.10 para o diagrama exemplificado.

Os valores dos factores VLA_h e VLA_d têm certa variação em função da localização do projecto influenciado fundamentalmente pela altitude e também em função da norma legal de país ou região (Tabela 3.50).

A predição do impacte ambiental poderá realizar-se considerando os caudais mínimos calculados mediante as equações indicadas na Tabela 11.10 e as possíveis variações que poderão ocorrer na prática, devido aos seguintes aspectos:

- Variação da *resistência total* nas aberturas subterrâneas para a rede de ar principal e nas mangas de ventilação nos sistemas de ventilação auxiliar. Este parâmetro é função do coeficiente de fricção e dimensões geométricas da abertura subterrânea, sendo directamente proporcional ao *comprimento* (Equação 3.62). Sabe-se também que a realização do projecto nem sempre é igual ao dimensionado e que as operações mineiras são dinâmicas, portanto existirá acréscimo frequente do comprimento das aberturas por onde circula o ar, resultando um potencial impacte ambiental por este facto;

Tabela 11.10 – Equações para o cálculo de caudais mínimos do ar para um projecto de exploração subterrânea para o modelo indicado na fig. 11.19

Caudal mínimo total (m^3/s)	Caudal mínimo total nos acessos áreas 1 e 2 (m^3/s)	Caudal mínimo para áreas de trabalho 1 e 2 (m^3/s)
$Q = f.N + K.P$	Acesso à área 1 $Q_{a1} = f(N_1 + N_2 + \dots + N_n) + K(P_1 + P_2 + \dots + P_n)$	$Q_1 = f.N_1 + k.P_1$
		$Q_2 = f.N_2 + k.P_2$
		..... $Q_n = f.N_n + k.P_n$
	Acesso à área 2 $Q_{a2} = f(N_x + N_y + \dots + N_w) + K(P_x + P_y + \dots + P_w)$	$Q_x = f.N_x + k.P_x$
		$Q_y = f.N_y + k.P_y$
		..... $Q_w = f.N_w + k.P_w$

- Variação da potência total de equipamentos com *motores diesel* nos locais de trabalho. Este facto poderá acontecer por causa das próprias situações das operações produtivas ou pelas decisões de aumento de produção;
- Variação na *quantidade de homens*, pode-se afirmar que nas condições actuais em que todas as minas subterrâneas têm a tendência à mecanização, não será normal um

aumento significativo de pessoal nas operações mineiras e variações pequenas não têm marcada influência no impacte ambiental, que o homem precisa quantidades pequenas ($0.05 \text{ m}^3/\text{s}$) comparadas com equipamento diesel. Por exemplo um LHD com 180 hp de potência precisa $6.30 \text{ m}^3/\text{s}$ minimamente, ou seja 126 vezes maior que o requerido para um homem (fig. 11.20).

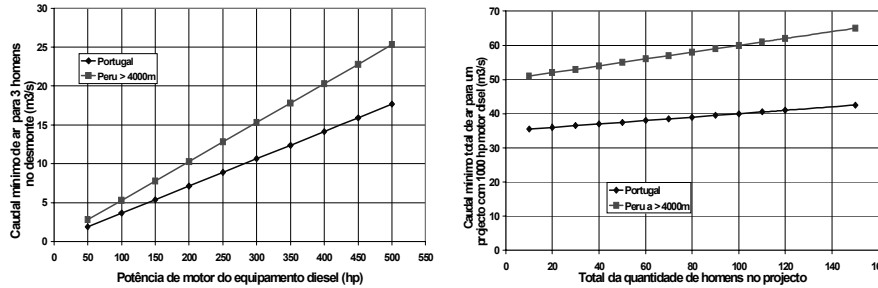


Figura 11.20 – Influência da quantidade de homens e máquinas com motor diesel no caudal mínimo de ar no ambiente subterrâneo

A predição do impacte ambiental dinâmico e volumétrico deve ser expressa em níveis distintos (leve, moderado e alto) utilizando a matriz base elaborada e apresentada na Tabela 3.52, com modificações consoante as normas legais a considerar.

Para o cálculo dos caudais e velocidade de referênciais na predição do impacte ambiental é recomendável utilizar programas existentes no mercado para fins de ventilação de minas, como são VnetPC2000 de Ventilation Service Inc. US, VENTSIM 3.4.3 de Austrália, VUMA Shouth África, NIVENA 6.2b de Japão (fig. 11.21), entre outros.

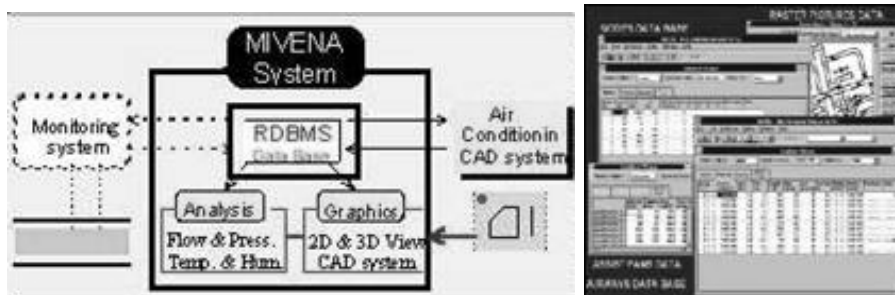


Figura 11.21 – Diagrama de blocos, imput & output do programa MIVENA System (<http://uws47.mine.akita-u.ac.jp/mivena/index-e.html>)

11.6.1.3. Impacte ambiental devido a poeiras e gases

Em todos os projectos de exploração subterrânea, nos desmontes e frentes de trabalho que constituem fundo de saco (frentes de avanço de galerias, rampas, travessas, acessos, etc.) existe uma concentração de partículas ou poeiras ($<1 \mu\text{m}$ de diâmetro) e gases (O, N, CO_2 , CO, NO_x , H_2S , SO_2 , CH_4 , etc.) que contaminam a atmosfera subterrânea e causam risco para a saúde e bem-estar dos trabalhadores, que devem ser avaliados para a sua prevenção e atenuação a níveis admissíveis.

No processo da escavação de aberturas subterrâneas nas etapas de construção, preparação e exploração, tem um carácter dinâmico ocasionando a geração de poeiras por duas fontes: fragmentação de rochas e minerais e utilização de equipamentos com motor diesel.

A fragmentação de rochas e minerais é efectuada mediante o processo de britagem, corte, abrasão e acção do explosivo, pela utilização de equipamentos (perfuradora; roçadoras; tuneladoras: raise boring; etc.) e pela remoção e transporte.

A predição da quantidade de poeiras produzidas no processo de escavações subterrâneas pode-se realizar utilizando a equação (3.49) tendo em conta a quantidade de material rochoso escavado por hora.

A quantidade de partículas emitidas pelos equipamentos movidos com motor diesel pode ser estimada pelas equações (3.50) e (3.51).

A predição da concentração dos gases tóxicos pode ser quantificada dependendo das fontes. Para gases gerados por uso de explosivos podem-se utilizar as equações (3.35) e (3.36); para emissão de gases por equipamentos diesel a equação (3.37).

Seguidamente, é necessário predizer o nível do possível impacte ambiental que se espera pelas poeiras e gases, tarefa que deve ser feita baseada na quantificação da emissão de poeiras e gases e a matriz base que está na Tabela 3.25 (gases) e Tabela 3.43 (poeiras).

11.6.1.4. Impacte ambiental acústico

No processo da realização do projecto vai ser necessário utilizar metodologias de trabalho nas actividades cíclicas unitárias (perfuração, desmonte com explosivo/corte, suporte, remoção, transporte), serviços auxiliares (ventilação, drenagem, ar comprimido, entibação, enchimento), operações de extracção, britagem etc. Todas estas actividades precisam da utilização de ferramentas e equipamentos ou maquinas, que no momento da operar produzem ruído, o que altera as condições ambientais da atmosfera subterrânea.

Para predizer o nível acústico das operações, é conveniente elaborar uma lista de equipamentos ou máquinas (marca, tipo, tamanho, operações a realizar e nível de ruído fornecido pelo fabricante) relacionadas com os locais de trabalho (secções) e as actividades operacionais ou de serviços auxiliares, com base em estudo de detalhe do projecto.

A predição da magnitude da geração do ruído, deve ser quantificada utilizando a equação (3.124) para martelos pneumáticos, as equações (3.125) e (3.126) para equipamentos com motor diesel, e as equações (3.127), (3.128), e (3.129) para ventiladores. Podem também usar-se informações fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos.

As informações relacionadas com o nível de ruído produzido pelos equipamentos, devem ser as referidas à fonte inicial ou à posição do operador. Como exemplo são os resultados obtidos nos estudos de aplicação (Tabela 11.11).

Tabela 11.11 – Nível sonoro contínuo equivalente máximo (fonte) registados na mina da Panasqueira (baseado na Tabela 7.15)

Ambiente de trabalho	Secção (mxm)	Equipamento	Expos. (h/dia)	Leq dB (A)	No. de homens
Desmontes	5 x 2.2	LHD Wagner Diesel ST-3.5	6.3	102	2
Desmontes	5 x 2.2	LHD eléctrico EST-2D	5.2	93	2
Desmontes	5 x 2.2	Jumbo Tamrock H107	5.6	120	2
GalP-5, rampa L2/L3	3.2 x 2.5	Dumper Wagner MT 412	6.5	104	1
Gal., ramp. Desm.	5 x 2.2	Tractor AGRIA	Eventual	97	13
P. extr.(Gal. D15)	4 x 2.4	Sistema Jaula - Vagões	6.5	89	8
Galeria D23.L2	3.2 x 2.5	2 Ventiladores de 80 hp	Eventual	111	variável
Galeria D23.L2	3.2 x 2.5	1 Ventilador de 80 hp	Eventual	102	Variável
Desmontes	5 x 2.2	1 Ventilador de 7.5 kW	Eventual	92	Variável
Câmara quebragem	30 x 20	Britagem primário	2.05	103	1
Cabeça de correia	5 x 2.4	Tela transp.Torvas	2.05	97	1
Virador de mineral	6 x 2.5	Descarga vagões	Eventual	93	1

A predição do nível acústico a produzir-se no projecto de exploração subterrânea não deve ter só um carácter pontual (ocupacional), mas também de carácter ambiental, para predizer *nível sonoro contínuo equivalente* $L_{Aeq,T}$ pode-se usar a equação (3.118), ou as equações experimentais obtidas durante a aplicação á mina da Panasqueira (Tabela 11.12).

As equações apresentadas na Tabela 11.12 são aplicáveis para aberturas subterrâneas com secção de 8 a 15 m² (média de 11 m²) escavadas com explosivo em rocha xisto, onde o impacte ambiental sonoro atinge uma distância D (m) desde a fonte de emissão que é a máxima ($Leq_{máx}$) expresso em dB (A).

Tabela 11.12 – Equações para determinar a distância máxima (D) desde a fonte para um valor máximo permissível de Leq de 85 dB(A)

Equipamentos	Equação	Equação base
Extracção com jaula e vagões	$D = 4.2212Leq_{máx} - 358.801$	10.4
Ventiladores	$D = 2.0221Leq_{máx} - 171.877$	10.5
Jumbos e LHDs (diesel e eléctricos)	$D = 1.2413Leq_{máx} - 105.511$	10.6
Para qualquer fonte	$D = 2.3015Leq_{máx} - 195.627$	10.7

A tipificação do nível de impacte ambiental acústico no projecto de exploração subterrânea, pode ser realizada com base na quantificação da magnitude da emissão acústica para cada equipamento ou actividade a realizar e com a matriz base elaborada (Tabela 3.90).

Com a metodologia proposta para a predição do impacte ambiental ocasionado pela alteração da temperatura, da concentração de gases e poeiras, variação da velocidade e caudal de ar e emissão de ruído, é possível predizer o nível do impacte ambiental subterrâneo para outros poluentes ambientais, como são a iluminação (item 3.5), radiação (item 3.5), explosão e incêndio (item 3.6).

11.6.2. Predição do impacte ambiental pela alteração da água subterrânea

11.6.2.1. Quantidade de água subterrânea

Tal como foi analisado no Capítulo 3 da segunda parte do presente estudo, as alterações das condições naturais das águas subterrâneas são expressas na sua quantidade (caudal) e na sua qualidade. Portanto, para a predição do impacte ambiental na água subterrânea deve-se caracterizar estes aspectos nas condições naturais, de modo que sirvam de referência para a predição das possíveis alterações ambientais quando da realização do projecto.

Para estimar a quantidade de água subterrânea na área da realização do projecto de exploração pode-se utilizar a equação (4.5).

O caudal de água subterrânea varia ao longo do ano em relação directa com a precipitação pluvial (estação meteorológica), e o risco ambiental poderá ser também proporcional a esta variação. É óbvio que um maior caudal de água gerará um maior risco ambiental relacionado com potencial de inundação e influência no comportamento geomecânico do maciço rochoso.

A previsão do nível de impacte ambiental relacionado com a possível inundação das aberturas subterrâneas poderá variar dentro do âmbito de acção do projecto de uma zona a outra dependendo da precipitação pluvial, das condições da localização das aberturas no maciço rochoso e acessos à superfície, como também das suas condições geológicas.

Tais condições poderão definir a distribuição deste caudal de água determinado, de modo que se pode estimar o caudal da água que eventualmente poderia drenar por gravidade e o caudal de água que será preciso controlar mediante técnicas conhecidas, como por exemplo bombagem.

Para predizer o tipo de nível de impacte ambiental devido ao caudal de água subterrânea deve-se usar o caudal quantificado e relacionar com a matriz elaborada (Tabela 4.11).

As medidas de prevenção e atenuação para o controle do risco ambiental relacionado com o caudal de águas subterrâneas, utilizam-se técnicas de impermeabilização ou bombagem. A engenharia relacionada ao controle mediante o sistema de bombagem está descrita no item 4.6.1 do Capítulo 4 da segunda parte do presente trabalho de investigação.

Por exemplo na mina de Neves Corvo foi utilizada a técnica de impermeabilização do leito do rio e bombagem em 100% do caudal da água presente no ambiente subterrâneo, e no caso das minas da Panasqueira e San Rafael usa-se o sistema misto, ou seja, drenagem por gravidade e bombagem.

11.6.2.2. Qualidade da água subterrânea

O impacte ambiental provocado pela drenagem ácida de minas subterrâneas está relacionado fundamentalmente como a alteração da qualidade da água superficial ao receber a descarga da água poluída que se reflectem geralmente nos aspectos a seguir:

propriedades térmicas; pH; cor; sabor; cheiro; concentração de sólidos e de metais. Portanto, as predições devem estar orientadas a estes aspectos.

A descarga da drenagem ácida ocasiona a diminuição do pH, incremento das concentrações de metais, alteração da temperatura e turvação das águas superficiais que comprometem a biodiversidade existente, sendo uma séria ameaça para o domínio biológico do ecossistema.

A predição da drenagem ácida tem dois objectivos: 1) Determinar o potencial de produção de ácido dum certo volume de exploração; e 2) Predizer a qualidade da drenagem baseada na taxa da formação ácida medida.

Há dois pontos importantes que devem ser considerados ao avaliar o potencial ácido da geração do material da rocha. O primeiro, é de como colectar amostras do campo para o uso em teste analítico e o segundo é de qual o método analítico do teste que deve ser usado.

Os métodos usados para predizer o potencial ácido da geração são dois: estáticos e cinéticos. Os factores que afectam a selecção do regime da amostragem e do método analítico incluem um conhecimento existente da geologia, dos custos, e do tempo disponível para o teste.

a). Método estático: existem vários métodos estáticos e os mais conhecidos são: Neutralization potencial USEPA standard; a Alkaline production potential; relação de sulfureto (APP/S); net acid production (NAP) acid-base accounting (ABA) e net acid generation (NAG) hydrogen peroxide (Mitchell, P., 2000).

Os testes estáticos predizem a qualidade da drenagem comparando o potencial de produção ácida máxima da amostra AP (kg H₂SO₄/t) com seu potencial máximo de neutralização NP (kg H₂SO₄/t), que podem ser determinados pelas equações (11.1) e (11.2).

$$NP = \frac{\%S}{100} \left[\frac{kgS}{kgamostra} \right] \frac{1}{32} \left[\frac{kmolS}{kgS} \right] 1.0 \left[\frac{kmolH_2SO_4}{kmolS} \right] 98 \left[\frac{kgH_2SO_4}{kmolH_2SO_4} \right] 1000 \left[\frac{kgamostra}{t} \right]$$

$$AP = \frac{V_{H_2SO_4} [Litros] M \left[\frac{eq}{L} \right] 0.049 \left[\frac{Kg}{eq} \right]}{W[g] 10^{-6} \left[\frac{t}{g} \right]} \quad (11.1) \text{ e } (11.2)$$

O ponto final de titulação acontece quando o pH é 4. Sob forma simplificada AP = 31.25 S, e S é o total de enxofre do sulfureto na amostra (%).

NP é uma medida do material carbonatado disponível para neutralizar o ácido, cujo valor é determinado pela titulação directa ácida da amostra, sendo o pH é geralmente 3.5, o que possibilita determinar quantidade de ácido consumido (Ferguson, K.D., et al., 1991, Lapakko 1993). O potencial líquido da neutralização (NNP) ou o valor ácido/base (ABA) são determinados pela equação (11.3).

$$NNP = NP - AP \quad (11.3)$$

Um NNP de 0 é equivalente a uma relação de NP/AP de 1. Os resultados do teste estático (AP, NP, e NNP) são expressas tipicamente em unidades de massa (quilograma,

tonelada métrica, etc.) de carboneto de cálcio (CaCO_3) por 1000 toneladas métricas da rocha (Ferguson, K.D., et al., 1991).

A relação NP/AP é a mais usada para a predição da geração de drenagem ácida, com a incorporação dum factor de segurança para reduzir os riscos resultantes dos parâmetros desconhecidos (Exemplo, Placer Dome. Inc, Tabela 11.13).

Tabela 11.13 – Relação de NP/AP usado por Placer Dome Inc. (Mitchell, P., 2000)

Relação NP/AP	Potencial de Geração Ácida (ARD)
<1	Gera ARD a menos que os sulfuretos sejam não reactivos
1 - 2	Possível geração do ARD se o mineral é neutralizado, coberto ou não reactivado de outra maneira
> 2	Pouco provável geração de ARD

Se a diferença entre NP e AP for negativa, existe potencial de produção ácida da rocha ensaiada. Se for positivo, então existe um menor risco. A predição do potencial da produção ácida é mais difícil quando o NNP está entre -20 e 20. Uma relação entre o potencial de neutralização duma amostra e o potencial de produção ácida de 3:1 indica uma menor probabilidade de gerar ácido, mas uma relação de 1:1 ou menos, indicam maior probabilidade de gerar ácido (Brodie et al. 1991).

b) Método cinético: os testes cinéticos são distintos dos testes estáticos e fundamentam-se na imitação das reacções naturais de oxidação. Os testes usam tipicamente um volume de amostra maior e requerem um tempo também maior para a conclusão do teste, comparativamente com os testes estáticos.

Estes testes fornecem a informação da taxa da oxidação mineral de sulfureto e consequentemente da produção ácida. Existem muitos métodos tais como: *humidity cells*, *sohlet extraction*, *column tests*, *bc research confirmation*, *batch reactor* e *field tests* (Tabela 11.14).

Tabela 11.14 – Métodos de testes cinéticos

Humidity cells (Sobek et al., 1978).	Sohelet extraction (Singleton, G.A., et al. e 1978; Sullivan, P.J., et al., 1982)	BC research confirmation (Duncan and Walden, 1975)
<ul style="list-style-type: none"> . Tamanho de partícula 200 g de - 2.38 mm da rocha. . Exposição de 3 dias ao ar seco, 3 dias ao ar húmido e enxaguado com 200 ml no dia sete . Custo: US\$ 425-850 	<ul style="list-style-type: none"> . Não apresentada do tamanho de partícula T=70°C (Singleton e Lavkulich, 1978) T=25 °C (Sullivan e Sobek, 1982) . Custo: US\$ 212-425 	<ul style="list-style-type: none"> . 400 mesh o tamanho de partícula . Adição de 15/30 g de solução bacteriana activa . Se o pH 2.2 a 2.5, T = 35 °C . Se o pH aumenta a amostra é não produtora de ácido . Se o pH diminui, 1/2 da massa da amostra original é adicionada em cada um de dois aumentos . Custos: US\$ 170-340

A concentração de metais na água subterrânea proveniente das operações mineiras, está relacionada com o tipo de mineral presente no maciço rochoso e a propriedade da lixiviação pela acção da água. A predição do nível de concentração de metais pesados deve ser feita para cada caso particular.

Finalmente, para predizer o nível do impacte ambiental pode ser usada a matriz base elaborada para este fim (Tabela 4.16 e 4.17).

11.6.3. Predição do impacte ambiental no maciço rochoso

Para a predição do impacte ambiental pela instabilidade e desprendimento das rochas propõe-se utilizar o Índice de Qualidade Q (equação 5.2) e a relação da dimensão equivalente (equação 5.3) de Barton, relacionados mediante a equação (5.37). Esta equação representa um padrão de referência na predição da possível existência ou não do risco ambiental geotécnico (Tabela 11.15) estabelecendo uma comparação entre a dimensão equivalente crítica D_{ec} ($D_{ec} = 2.821Q^{0.3838}$) e do projecto D_{ep} .

No caso da possibilidade da existência do risco ambiental, a predição do nível do impacte ambiental pode ser feita utilizando a matriz base da Tabela 5.19 e relacionando valores determinados com resultantes dos ensaios *in situ* e de laboratório, utilizando a técnica desenvolvida no Capítulo 3 da Segunda Parte do presente trabalho.

Tabela 11.15 – Tabela para predição da presença do risco ambiental ou não pela instabilidade e desprendimento das rochas

Dimensão Equivalente	Risco de impacte ambiental	
	Sim	Não
$D_{ep} \geq D_{er}$	x	-
$D_{ep} < D_{er}$	-	x

Outra forma de prever o impacte ambiental no maciço rochoso pode ser mediante a quantificação da velocidade vibratória crítica v_c (m/s) provocadas pela detonação do explosivo.

O nível de dano provocado pode ser previsto mediante as equações 5.30 e 5.34 que determinam a sobre escavação e a distância de dano provocado à volta de uma abertura subterrânea, respectivamente.

Em geral, vibrações menores a 0.51 m/s não provocam nenhum dano no maciço rochoso, e os possíveis efeitos esperados em diferentes níveis de rocha estão indicados na Tabela 11.16.4

Tabela 11.16 – Efeitos da velocidade vibratória crítica provocados pela detonação do explosivo (Persson, *et al.*, 1993)

Velocidade pico de partículas v_c (m/s)	Efeitos no maciço rochoso
<0.254	Não existe facturação
0.254 - 0.381	Pode ocorrer deslocamentos e algumas quedas de rocha
0.635 - 2.54	Forte presença de fracturas de tensão e fracturas radiais
>2.54	Rotura completa

11.6.4. Predição do impacte ambiental no ambiente biológico exterior

Os impactes ambientais biológicos se apresentarão quando realizam-se actividades que mudam as funções naturais do ecossistema. As alterações podem afectar a situação da saúde humana e a função do ecossistema terrestre e aquático no ambiente exterior em áreas de influência da descarga de poluentes desde o ambiente subterrâneo, pelo que é indispensável avaliá-las no EIAS.

Em áreas não agrícolas, o grau de impacte ambiental está definido em relação à quantidade de emissões, ao período de exposição, toxicidade, captação e bio-acumulação

de metais pesados e outros elementos. Além disso, pode gerar impacto nos animais através da cadeia alimentícia. Outro aspecto importante é a degradação do ecossistema provocada pela subsidência (paisagem).

Em *áreas agrícolas*, deverão ser avaliados os impactos adversos aos cultivos, solos (degradação) e recursos de água que podem comprometer a saúde humana e animal.

A descarga de poluentes provenientes do ambiente subterrâneo pode destruir o habitat e provocar imigração de animais silvestres ou induzir mudanças fisiológicas e aumentar a susceptibilidade às doenças e ainda influenciar na saúde do homem pela cadeia alimentícia.

Para a predição do impacto ambiental relacionado a estes aspectos os indicadores podem ser:

a) *Para a cobertura vegetal*, a percentagem de superfície coberta (PSC), ponderada em função do índice de interesse das espécies existentes k (Tabela 11.17), determinado pela equação 11.4 cuja função de transformação está na figura 11.22. Nesta equação S_t é a superfície total considerada e S_z é a superfície coberta por cada espécie ou tipo de vegetação presente.

$$PSC = \frac{100}{S_t} \sum_1^z S_z \cdot K \quad (11.4)$$

A metodologia para avaliar o impacto paisagístico pode ser baseada no valor relativo do percentual da paisagem V_r (%) expresso pela equação (11.5), onde o valor absoluto é V_a (espectacular 16 a 25, soberbo 8 a 16, distinto 4 a 8, agradável 2 a 4, vulgar de 1 a 2 e feio 0 a 1), tamanho médio das populações próximas é P (quantidade de habitantes na Tabela 11.18), distância média às populações próximas d (km na Tabela 11.18), acessibilidade aos pontos de observação A_c (imediate 4, boa 3, regular 2 má 1 e inacessível 0), superfície de observação S (muito grande 4, grande 3, pequena 2 e muito pequena 1).

$$V_r = 1.125 \left[\frac{P}{d} \cdot A_c \cdot S \right]^{1/4} \cdot V_a \quad (11.5)$$

Tabela 11.17 – Valores do índice de interesse das espécies existentes K

Espécies	K
Endemismo	1
Rara	0.8
Pouco comum	0.6
Frequente	0.4
Comum	0.2
Muito comum	0.1

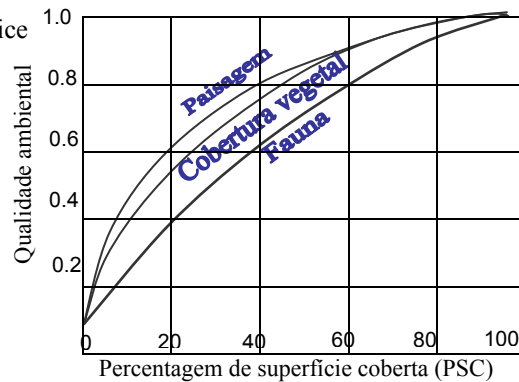


Figura 11.22 – Função de transformação para paisagem, cobertura vegetal e fauna (Conesa, V., 1997)

Tabela 11.18 - Indicadores P e d (Conesa, V., 1997)

No. Habitantes	P	Distância (km)	d
1-1000	1	0 – 1	1
1000-2000	2	1-2	2
2000-4000	3	2-4	3
4000-8000	4	4-6	4
8000-16000	5	6-8	5
16000-50000	6	8-10	6
50000-100000	7	10-15	7
100000-500000	8	15-25	8
500000-1000000	9	25-50	9
>1000000	10	>50	10

b) Para a fauna, considera-se como indicador do impacto o valor ecológico VE determinável com a equação (11.6), que mede o valor do biótipo mediante a sua qualidade e abundância expressas mediante os coeficientes a, b, c, d, e, f, g (Tabela 11.19) e a função de transformação da figura 11.22.

$$VE = \frac{a.b + c + 3d}{e} + 10(f + g) \quad (11.6)$$

Para a predição do nível do impacto ambiental os valores inferiores a 0.5 são considerados inadmissíveis pelas normas em vigor.

11.7. Medidas de prevenção e correcção para o impacto ambiental

Prevenir, atenuar ou corrigir o impacto ambiental significa introduzir medidas preventivas e/ou correctivas com o fim de: a) Explorar em maior grau as oportunidades que nos oferece o ambiente para melhor desempenho ambiental do projecto; b) Evitar anular, atenuar, corrigir ou compensar os efeitos negativos das acções derivadas do projecto sobre o ambiente; e c) Aumentar, melhorar e potencial os efeitos positivos que possam existir.

Tabela 11.19 – Valores dos coeficientes da qualidade e abundância (Conesa, V., 1997)

Razão	Coef	Quantificação
Abundância de espécies	a	Muito abundante 5, Abundante 4, Médio 3, Pouco 2, Muito pouco 1.
Diversidade da espécie	b	Excepcional 5, Alta 4, Aceitável 3, Baixa 2, Uniforme 1.
Espécies protegidas	c	De 1 a 10
Diversidade de biótipo	d	Igual à quantificação de b
Abundância de biótipo	e	Igual à quantificação de a
Escassez de biótipo	f	Muito raro 5, Raro 4, Relativamente raro 3, Comum 2 e Muito comum 0
Endemismos	g	Sim 5, não 0

Será necessário estudar em profundidade as medidas a introduzir no projecto, podendo adaptar-se as seguintes:

- *Medidas preventivas*, que evitam a presença do efeito modificando os elementos definidos no projecto (tecnologia, dimensionamento, traslado, tamanho, matérias primas, consumíveis, etc.);

- *Medidas correctivas*, os impactes recuperáveis, orientadas a anular, atenuar, corrigir ou modificar as acções e efeitos sobre processo produtivo (técnicas, etc.), condições de funcionamento (filtros, redutores acústicos, normas de segurança, etc.), factores do meio como agente transmissor (diluição, etc.), factores do meio como agente receptor (aumento de caudal, oxigenação das águas, etc.);
- *Medidas compensadoras* de impactes irrecuperáveis e inevitáveis, que não anulam o efeito, nem anulam ou atenuam, mas compensa de alguma maneira a alteração do factor (ideminação por contaminação, criação de áreas verdes, etc.).

Em função do nível do impacte ambiental e o tipo de medidas correctivas se consideram:

- *Possível*, quando tendem à correcção de impactes recuperáveis;
- *Obrigatórias*, que corrigem impactes recuperáveis, não inadmissíveis no sentido ambiental, até atingirem padrões adoptados ou legalmente estabelecidos;
- *Convenientes*, para atenuar impactes recuperáveis, admissíveis no aspecto ambiental;
- *Impossíveis*, quando se trata de impactes irrecuperáveis, não admissível no aspecto ambiental.

11.7.1. Medidas de prevenção e correcção para o impacte ambiental na atmosfera subterrânea

As medidas de prevenção e correcção dos impactes ambientais produzidos na atmosfera subterrânea são de tipo térmico, dinâmico, volumétrico, poeira, gases, ruído, radiação, explosão e incêndio. A procura das alternativas têm relação com os factores as fontes de poluição ou alteração do ambiente da atmosfera subterrânea (fig. 11.23).

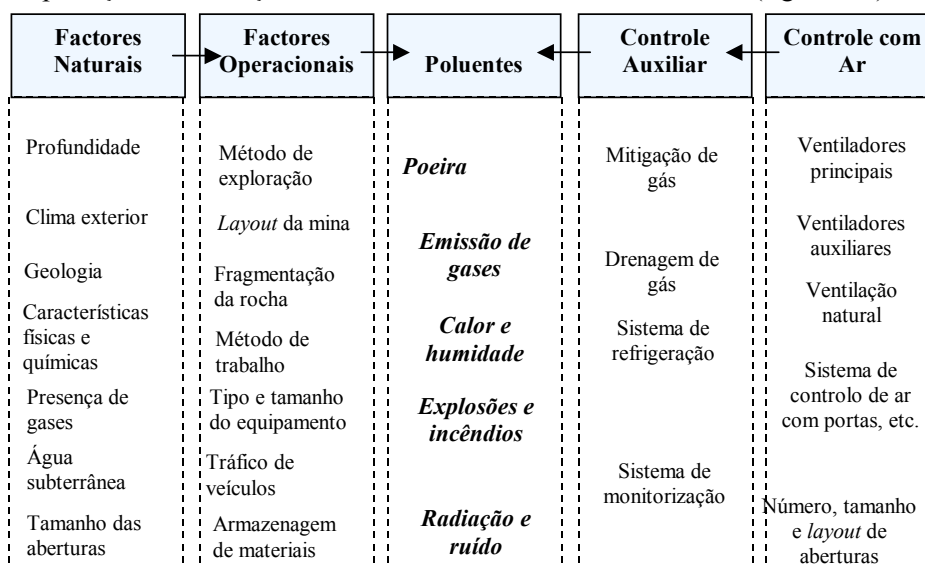


Figura 11.23 – Factores e sistema de controle do impacte ambiental na atmosfera subterrânea

A ferramenta tecnológica para a prevenção e correcção foi desenvolvida no Capítulo 1 da segunda parte de presente trabalho de investigação. As expressões matemáticas para obter uma caudal de ar mínimo para conseguir uma qualidade de ar da atmosfera subterrânea admissível pelas normas (padrões) em vigor, resumem-se na Tabela 11.20, cujo detalhe pode-se observar na parte referida neste parágrafo.

É recomendável ter em referência sobre a *velocidade crítica* do ar, que é a mínima velocidade que permite manter o ar do ambiente subterrâneo em condições saudáveis para os trabalhadores (homens). Os estudos de aplicação nas minas de Neves Corvo, Panasqueira e San Rafael permitem exprimir que esta velocidade é de 0.5 a 0.8 m/s.

Outro procedimento na determinação do caudal mínimo de ar requerido para a atmosfera subterrânea é aplicando a equação (3.58), que considera o caudal mínimo de ar para todos os contaminantes ambientais. As condições que permitem adoptar o caudal de ar de medida correctiva para todos os poluentes estão indicadas na Tabela 11.21.

Tabela 11.20 – Equações que permitem calcular o caudal mínimo do ar que evitam o impacte ambiental do ar da atmosfera subterrânea

Tipo de impacte	Equação		Equação	
Térmico	Junção	$QQ_{i1-f} = \frac{q(t_i - t_f + \Delta t_{i-f})}{t_f - t_{i1}}$	3.24	
	Linear	$Q_{i-f} = Q_m = V_m \cdot S_{i-f}$	3.29	
	Disjunção	Se $\Delta t_{i-f} > \Delta t_{i-f1}$: (para $\Delta t = \Delta t_{total}$); Se $\Delta t_{i-f} > \Delta t_{i-f}$: (2.32)		3.31
$t_f = t_i - \Delta t_{i-f1} \left(\frac{Q_{i-f1}}{q} \right) \quad e \quad t_{f1} = t_i - \Delta t_{i-f} \left(\frac{q}{V_m \cdot S_{i-f1}} \right)$		3.32		
Gases	$Q_{go} = IQA_g q_{ge} P_e, \quad Q_e = \left(\frac{S}{t} \right) (L + 120), \quad Q_e = \frac{L \cdot S}{t} \ln \left(\frac{C_e}{VLA} \right)$		3.43 3.44 3.45	
	Poeiras	$Q_p = \frac{Q_i \cdot VLA_p \cdot P}{60 C_p}, \quad Q_p = \frac{E_p}{60(VLA_p - C_{ep})}$		3.54 3.55
		Homens	$q = VLA_h N^*$		3.73
Geral	$q = VLA_h N + VLA_d P_m$		3.73	
Iluminação e radiação	$Q_i = \frac{ES\delta}{\phi\mu} \text{ (iluminação)}, \quad Q_2 = Q_1 \left(\frac{WL_1}{WL_2} \right)^{1.85} \text{ (radiação)}$		3.94 3.96	
	Explosão e incêndio	$Q_{sb} = \frac{LHD_p \rho_{pi}}{P_{pi} N_b} \text{ (explosões)}, \quad MSI = \frac{GAM}{GTAM} \text{ (incêndios)}$		3.110 3.113

* Sem considerar caudal para equipamentos diesel

Tabela 11.21 – Condições para adoptar o caudal de medida correctiva conjunta (térmica, dinâmica, volumétrica, devido a poeiras e gases)

Condição	Caudal a adoptar	Condição	Caudal a adoptar
Se $Q_{mt} > Q$	Q_{mt}	Se $q > Q$	q
Se $Q_{mt} < Q$	Q	Se $q < Q$	Q

O procedimento técnico para obter o caudal de ar requerido é mediante sistema de ventilação principal, ventilação auxiliar ou ventilação natural. Para o impacte ambiental sonoro é possível optar medidas de controle detalhados no item 3.7.6 do capítulo 3 segunda parte.

11.7.2. Medidas de prevenção e correcção para o impacte ambiental no domínio ambiental da água

A procura de alternativas para a prevenção e correcção do impacte ambiental devido ao caudal da água subterrânea é relacionada com as técnicas de impermeabilização, drenagem por gravidade e bombagem. Entre estas técnicas a mais económica é a drenagem por gravidade e depois a bombagem quando aquela já não é possível drenar.

O detalhe do processo de dimensionamento do sistema de bombagem está no item 4.6.1 do Capítulo 4 da Segunda Parte do presente estudo, expresso mediante equações 4.11 a 4.17.

Para a prevenção e correcção do impacte ambiental devido à qualidade da água de mina (pH, metais pesados, concentração de sólidos, etc.) existem dois processos: tratamento activo e passivo, desenvolvidos no item 4.5.2. do Capítulo 4 da Segunda Parte.

O tratamento químico activo das águas ácidas de mina (AMD) para remover os metais e a acidez é frequentemente um processo caro, mas os sistemas passivos podem ser executados como uma solução permanente para muitos tipos de águas ácidas de minas a um custo muito mais baixo (Faulkner, B.B. *et al.*, 1994).

A tecnologia passiva inclui: os *charcos*, os drenos anoxicos de pedra calcária (ALD), os sistemas de produção sucessiva de alcalinidade (SAPS), as lagoas da pedra calcária, e as valetas da pedra calcária (OLC).

A selecção dum sistema passivo apropriado está baseado na química da água, taxa de escoamento, topografia local e características locais (Hyman, D.M. *et al.*, 1995) precisando contínuas melhoras.

A figura 11.30 (adaptado de Hedin, R.S., *et al.* 1994) resume o processo actual na selecção do tipo apropriado de sistema passivo para várias condições. Em geral, águas alcalinas podem ser tratadas por *charcos* aeróbio; os ALDs podem tratar água com baixo Al, Fe³⁺, O₂; e os SAPS, charcos de anaeróbio e os OLCs podem tratar água ácida com alto conteúdo de Al, Fe³⁺, e O₂.

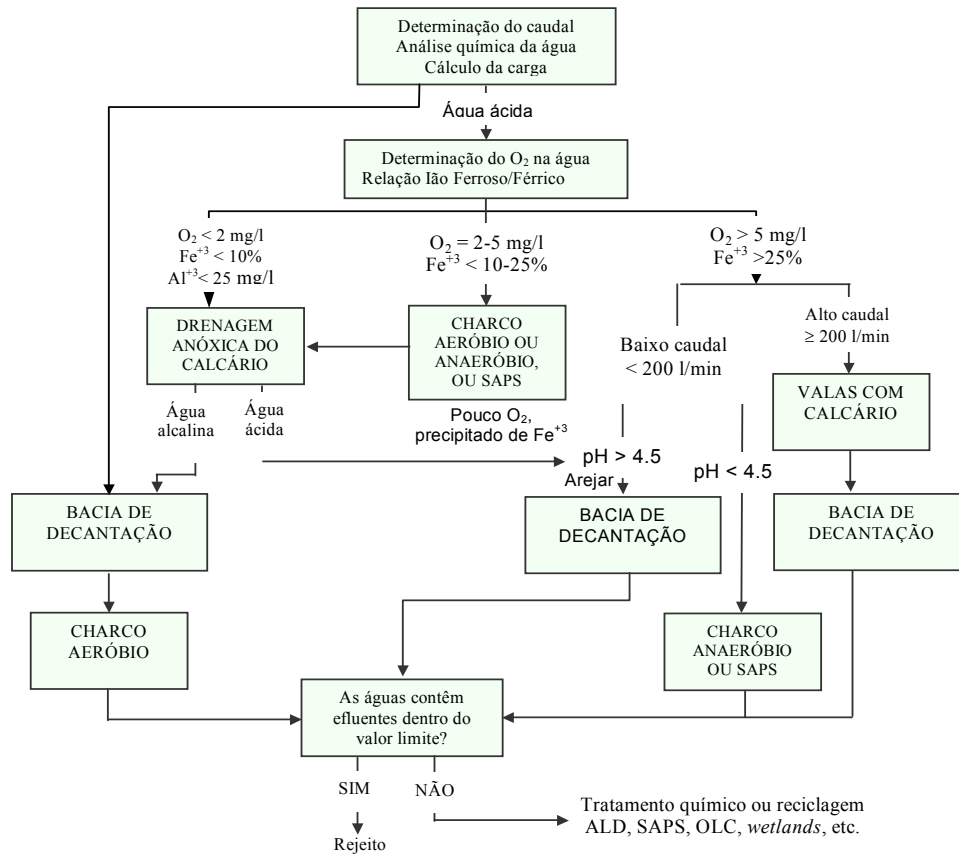


Figura 11.30 – Diagrama para a selecção do método de tratamento passivo de Drenagem Ácida de Minas baseado em química e caudal de água (Hedin, R.S. et al., 1994)

11.7.3. Medidas de prevenção e correcção para o impacte ambiental no domínio ambiental rocha

Entre as medidas de prevenção e correcção utilizadas amplamente em escavações subterrâneas estão as relacionadas com a instrumentação e com os *sistemas de suporte*, cuja tecnologia de selecção e dimensionamento para diferentes condições do meio rochoso e aberturas subterrâneas se tem desenvolvido no item 3.7.6 do Capítulo 3 da Segunda Parte do livro.

11.8. Programa de monitorização e controle

As normas legais de nível geral (União Europeia) ou de nível de país (Portugal, etc.) contemplam a necessidade de que os estudos de impactes ambientais incluam um *programa de monitorização e controle* denominado também como programa de vigilância ambiental.

Este programa deve estabelecer um sistema que garanta o cumprimento das medidas de prevenção e correcção contidas no estudo de impacte ambiental. Ou seja, levanta-se a questão de saber se as medidas de prevenção e correcção introduzidas como consequência dos EIAS (Estudo de Impacte Ambiental Subterrâneo) responderão positivamente nos termos supostos no momento da sua incorporação no processo de realização do projecto.

Partindo da situação actual de referência, sem projecto, e com base no acompanhamento previsto, será possível efectuar uma avaliação futura, em instante determinado, e verificar em que medida orami cumprida as previsões dos impactes e as medidas correctivas e decidir sobre a necessidade ou não de adoptar novas medidas.

O programa de monitorização e controle (programa de vigilância ambiental) deve ser elaborado pela equipa projectista, na sua primeira fase (sem projecto) e pela equipa auditora posteriormente (com projecto em realização).

Além do programa de monitorização e controle ser útil na melhoria do sistema de gestão ambiental, serve também para informar ao sector administrativo responsável do aspecto ambiental da actividade que contemplará os factores e indicadores que sejam possíveis medir, estabelecidos no EIAS.

Os aspectos objecto do programa de monitorização e controle são:

- Introdução correcta e garantir o nível de eficiência das medidas preventivas, protectoras, correctoras ou compensadoras;
- Medida dos impactes residuais cuja total correcção não seja possível, comparando com observações durante a realização do projecto e com os previstos no EIAS;
- Medida de outros impactes não previstos e de posterior aparição durante realização do projecto sejam ou não consequência das medidas correctivas.

No processo da realização do programa de monitorização e controle será necessário utilizar procedimentos técnicos fiáveis e padronizados.

Para a atmosfera subterrânea existem padrões e normas legais em distintos países do mundo, mas com carácter de Segurança, Higiene e Saúde. Portanto convêm rever e dar um carácter ambiental a esses padrões e normas.

Em relação à água subterrânea pode-se aplicar os padrões e normas legais existentes para águas e em particular para drenagem ácida de minas.

A parte ambiental rocha constitui um domínio muito complexo, pelo que existe uma dificuldade de legislar, portanto, é recomendável utilizar padrões de referência existentes para condições similares obtidos das experiências *ins situ* e de laboratório.

11.9. Informe final

A síntese do processo, a comunicação de todos os aspectos estudados, analisados e avaliados, apresenta-se no informe final.

O informe final deve ter uma qualidade técnica, ser compreensível, de fácil leitura, de estrutura não complexa e progressiva; de modo que o público em geral e a

administração ambiental possa julgar e decidir sobre a admissibilidade ambiental do projecto.

Em relação ao conteúdo deverá ser similar ao determinado pelas normas existentes para estudos de impacte ambiental exterior. A seguir propõe-se uma adaptação do EPA dos Estados Unidos da América:

- Introdução e discussão da acção projectada;
- Estudo ambiental na situação pré-operacional;
- Descrição do projecto (Dimensionamento, realização, funcionamento, abandono);
- Acções que podem actuar sobre o ambiente nas distintas fases do projecto;
- Factores susceptíveis de receber impacte;
- Prováveis impactes sobre o ambiente;
- Alternativas da acção projectada;
- Maiores impactes e medidas para minimizar;
- Impactes negativos que não são possíveis de evitar ou são de alto custo;
- Relação entre a utilização dos recursos ambientais a curto prazo com a produtividade a longo prazo;
- Usos irreversíveis ou insubstituíveis dos recursos;
- Comentários recebidos durante o processo da investigação ou da realização do EIAS;
- Discussão dos resultados obtidos na avaliação quantitativa e qualitativa e em relação ao impacte residual;
- Proposta de estudos complementares e de detalhe quando necessários;
- Conclusões;
- Programa de monitorização e controle.

Capítulo 12

SISTEMAS DE GESTÃO PARA O AMBIENTE SUBTERRÂNEO

12.2. Sistema de gestão ambiental (ems) /iso 14001

12.2.1. Aplicação do sistema ao ambiente subterrâneo

Os problemas de contaminação e desequilíbrio ambiental produzidos pelo homem no ambiente subterrâneo (atmosfera subterrânea, água subterrânea, rocha em interacção com o homem) devem ser tratados com base em normas legais e administração da segurança e saúde do trabalho (fig. 12.1).

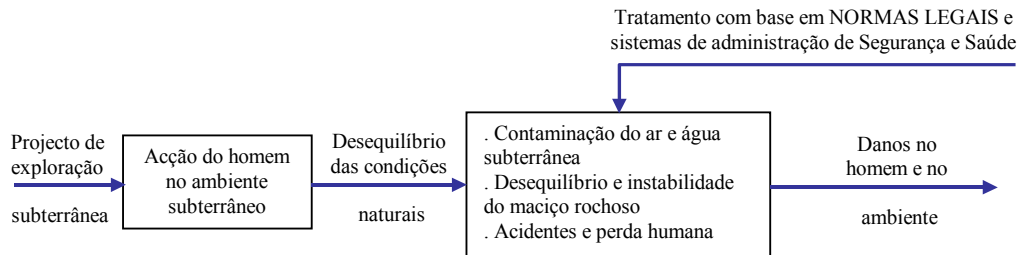


Figura 12.1 – Tratamento actual dos acidentes ambientais no ambiente subterrâneo

Os acidentes consideráveis que ocorrem diariamente nos trabalhos subterrâneos, provocam consideráveis danos no homem e no ambiente, demonstrando que a só aplicação das normas legais não é suficiente para evitar ou reduzir este grave problema, e portanto existe uma grande necessidade de procurar procedimentos proactivos.

A norma ISO 14000, mediante a série 14001 considera precisamente este procedimento (proactivo) desafiando a organização a caracterizar seus *aspectos ambientais*, a estabelecer suas próprias metas e objectivos, a comprometer-se para adoptar processos efectivos e confiáveis para uma melhoria constante e fazer que os empregados e directores pratiquem um sistema de percepção, ilustração e responsabilidade compartida, onde o cumprimento das normas legais é mais que um elemento a considerar.

A ISO 14001 foi preparada para a aplicação em organizações de qualquer tipo e tamanho e para adequar-se a diversas condições geográficas, sociais e culturais, mesmo que a tecnologia não constitua requisito em nenhuma parte da norma. O único requisito tecnológico é a obrigação de considerar o uso de processos, práticas, materiais ou produtos que evitem, reduzam ou controlem a poluição, mediante o reciclado, o tratamento, as mudanças no processo, os mecanismos de controle, o uso eficiente de recursos e a substituição de materiais (Cascio, J. *et al.*, 1996).

Sendo uma norma de muita importância na prevenção e cumprimento dos compromissos ambientais numa organização e não existindo restrições de nenhum tipo e sendo que pode-se adequar a diversas condições geográficas, como no ambiente subterrâneo existem sérios problemas de tipo ambiental, considera-se altamente positiva a aplicação da norma ISO 14001 na gestão do ambiente subterrâneo, sendo as normas

legais um elemento que participa em conformidade com os padrões de qualidade do ambiente subterrâneo (fig. 12.2).

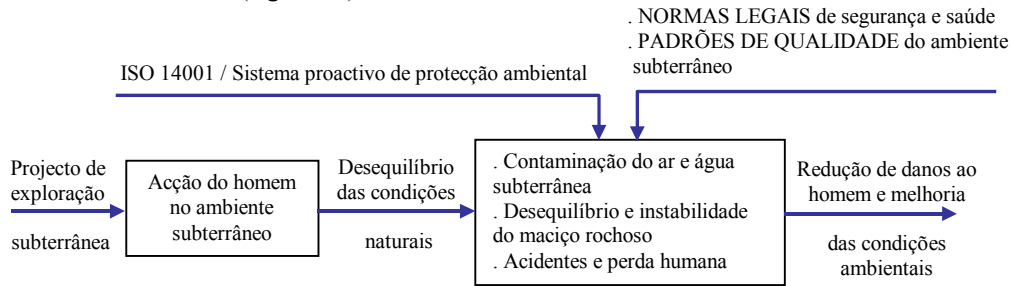


Figura 12.2 – A ISO 14001 na gestão do ambiente subterrâneo

Como um aspecto adicional, a ISO 14001 considera que os benefícios potenciais da prevenção da contaminação ambiental incluem a redução dos impactes ambientais adversos, eficiência melhorada e *redução de custos*, obrigando aos funcionários da organização, considerar estas opções ainda que a solução escolhida permita controlar a contaminação. Este requerimento contempla o aspecto de viabilidade económica das alternativas das medidas correctivas a utilizar, sendo esta questão muito importante em todo projecto de engenharia.

12.2.2. Gestão ambiental estratégica e melhoria contínua com a ISO 14001

Quando uma empresa mineira decide obter a certificação da norma ISO 14001 deve seguir uma rota ilustrada na fig. 12.3 e Tabela 12.1 que mostram a sequência de acções a realizar para a aplicação do EMS, a que compreende 5 secções principais com um total de 17 elementos.



Figura 12.3 – Elementos sequenciais na implementação estratégica do ISO 14001(Martin, R., 1998)

Não é recomendável elaborar um procedimento muito complicado, é conveniente abordar só aquilo que está relacionado com a intenção da norma. Um procedimento funcional pode ser:

- Assegurar a colaboração de todas as partes responsáveis do sistema. A direcção da empresa deve fomentar a participação total dos trabalhadores relacionados com o processo.

Tabela 12.1 – Secções e elementos da norma ISO 14001 (Davis, P., 1998, NSF International, 1996)

Secções (5)	Elementos (17)
4.1 Política ambiental	4.1. Política ambiental
4.2 Planificação	4.2.1 Aspectos ambientais 4.2.2 Legal e outros requerimentos 4.2.3 Metas e objectivos 4.2.4 Programa (s) de administração ambiental
4.3 Implementação e operação	4.3.1 Estrutura e responsabilidade 4.3.2 Capacitação, consciência e competência 4.3.3 Comunicação 4.3.4 Documentação do EMS 4.3.5 Controle de documentos 4.3.6 Controle operacional 4.3.7 Preparação e resposta a emergências
4.4 Verificação e acções correctivas	4.4.1 Monitorização e medição 4.4.2 Inconformidade e acção correctiva e preventiva 4.4.3 Registos 4.4.4 Auditoria de sistemas de administração ambiental
4.5 Revisão administrativa	4.5 Revisão administrativa

- Simplificar o processo recomendado pelos participantes com método de redução sucessiva até conseguir diferenciar entre temas de *formação* e temas *operacionais*.
- Pôr em circulação o processo com carácter provisório e período de prova e pedir a opinião dos participantes, de cujo resultado eliminar ou aumentar segundo seja necessário. Logo de este período oficializar o documento e revisar em forma periódica para garantir a melhora contínua.

Como é ilustrada na fig. 12.3 os elementos dos níveis iniciais são os mais críticos do sistema que servem de apoio aos superiores, no nível 1 está o elemento base que é o compromisso da alta direcção e a política ambiental, no nível 2 estão as metas e objectivos ambientais e no nível 3 o programa de controle ambiental integrado pelos processos, práticas, procedimentos e linhas de responsabilidade.

Uma informação importante alimentada ao processo por revisão administrativa é a que provem das auditorias EMS que compreende o nível 4. O fim desta auditoria é assegurar que o EMS funcione como é esperado.

A efectividade e avanços conseguidos pela EMS são avaliados periodicamente mediante a revisão administrativa localizada no nível 5. No último nível está a meta final que é o objectivo final que consiste em atingir uma melhoria constante com o fim de

assegurar que a organização cumpra de forma consistente e fiável suas obrigações ambientais e de protecção.

A *National Center for Environmental Decision-Making Research (NCEDR)* da *University of Tennessee* e considera 5 fases ou passos a seguir na aplicação da norma ISO 14001 até a obtenção da certificação (fig. 12.4).

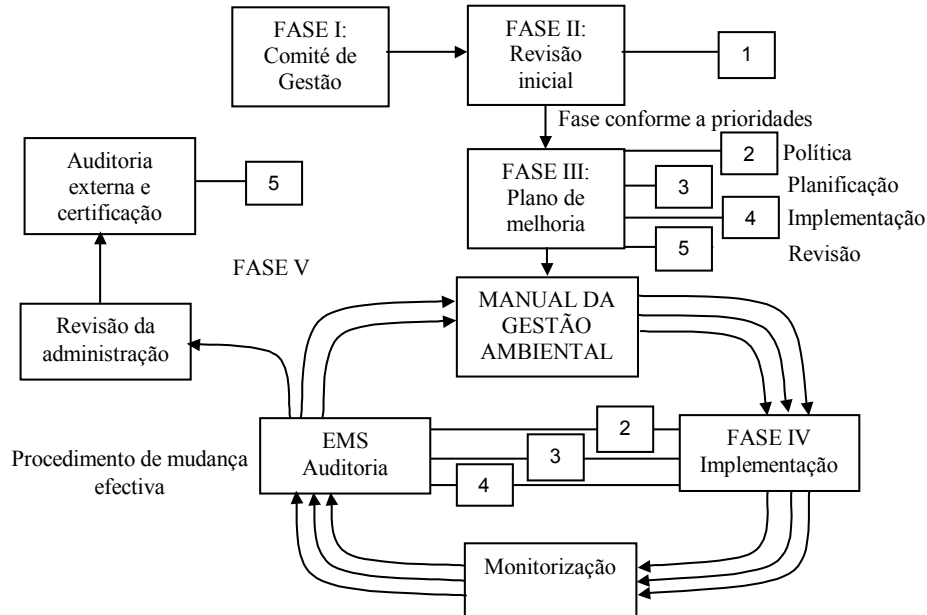


Figura 12.4 – Fases do sistema de gestão ambiental ISO 14001 na obtenção da certificação (Martín, R., 1998)

Algumas institucionais dedicadas à aplicação da ISO 14001 consideram 3 fases com 24 passos como ISOTOP (<http://www.isotop.net/11a.asp>) e outros consideram 10 passos como a LEHDER (http://www.lehder.com/factsheets/ehs/ehs_factsheet_iso.html).

12.2.3. Revisão inicial

Tomada a decisão de obter a certificação mediante a norma ISO 14001 e conformado o comité, o passo inicial consiste em determinar o estado actual dos programas ambientais da empresa mineira. No caso do ambiente subterrâneo de minas em operação deve-se caracterizar o programa de segurança e saúde existente.

Cada especificação da norma deve ser revista, inclusive a política, exigências legais, capacitação, objectivos e metas, sistemas de controle operacionais, documentação, monitorização e controle, revisão da administração e acção correctiva.

Deve ser considerada a condição operacional, incluindo possíveis incidentes e situações de emergência que podem ser encontradas, assim como a habilidade de fornecedores e subempreiteiros para concordar com a empresa o programa EMS e a norma legal aplicável.

A revisão inicial considera a contabilidade, a computarização da informação, as aquisições, a utilização de energia e programas de administração. O fim é para alcançar a eficiência operacional que assegure melhorias ambientais e minimizem o custo da protecção ambiental.

A análise inicial permite uma rápida determinação do sistema de gestão ambiental e procedimentos para comparar com as exigências da norma. O modelo pode ser um questionário

A revisão inicial deve avaliar as normas internas actuais da empresa relacionadas com o ambiente, saúde e segurança, como práticas operacionais e directrizes, além de normas externas e regulamentações.

12.2.4. Política ambiental da empresa mineira (4.1)

A empresa mineira deve definir uma declaração das suas intenções e princípios em relação com seu desempenho ambiental que proporcione um marco de acção e para o estabelecimento de seus objectivos e metas ambientais.

Para obter resultados satisfatórios do EMS é indispensável o compromisso de todos os níveis da estrutura orgânica, sendo o compromisso da alta direcção de máxima importância.

Tabela 12.2 – Modelo do estabelecimento da política ambiental numa empresa mineira

Política ambiental de uma empresa mineira
<p><i>a) Compromisso de melhoria constante e prevenção da contaminação:</i></p> <ul style="list-style-type: none">○ Realizar prática de tecnologia limpa e de elementos não poluentes que permita uma melhoria contínua e um desenvolvimento sustentável;○ Restaurar os recursos naturais onde seja possível;○ Prevenir a contaminação e realizar um processo produtivo de forma que reduza as emissões ao ambiente a níveis permissíveis;○ Aplicar procedimentos e metodologia adequadas durante o ciclo de vida, que permita proteger o ambiente;○ Desenvolver consciência ambiental no pessoal de todo nível no sentido de que a interacção com as instalações, equipamentos outros recursos conduzam a redução dos riscos ambientais.
<p><i>b) Cumprimento das normas legais em vigor e uso de tecnologia adequada:</i></p> <ul style="list-style-type: none">○ Cumprir com todos os dispositivos legais, regulamentos, padrões e outros dispositivos em vigor aplicáveis as operações mineiras;○ Adoptar soluções tecnológicas ambientalmente aplicáveis, práticas, eficientes e viáveis economicamente;○ Assumir a responsabilidade ambiental ante o pessoal da empresa e a comunidade.
<p><i>c) Estabelecimento e revisão de objectivos ambientais:</i></p> <ul style="list-style-type: none">○ Dimensionar e adoptar equipamentos, processos, metodologias e técnicas com consciência ambiental de modo a reduzir o consumo de recursos, incluindo químicos e energéticos;○ Comunicar ao pessoal de todos os níveis (da empresa, empreiteiros, subempreiteiros e fornecedores) para tomada de consciência e contribuição no processo do sistema ambiental;○ Manter o centro de trabalho seguro e saudável para todo o pessoal.

Tal facto exige que a organização defina sua política ambiental (Tabela 12.2), garantindo a satisfação das seguintes condições:

- A política ambiental da empresa deve ser relevante á natureza, ao nível de impactes ambientais das suas actividades de exploração subterrânea, seus produtos e outras actividades conexas, ou seja a política deve ser concordante a suas próprias necessidades e realidade.
- Deve incluir um compromisso a favor da melhoria contínua, a prevenção da contaminação, o acatamento da legislação e regulamentação ambiental aplicável e outras que a organização subscreva.
- O anterior compromisso, deve ser apoiado com uma serie de objectivos e metas concretas e muito bem definidas, ou seja quantificadas para permitirem medir a eficácia e avanços na consecução dos objectivos.
- A política ambiental da empresa deve estar documentada, implantada, actualizada, comunicada a os empregados e estar a disposição do público.

12.2.5. Planificação ambiental (4.2)

Depois do estabelecimento da política ambiental a ISO 14001 requer que a empresa desenvolva um plano para cumprir essa política, e por conseguinte a organização deve considerar:

a) Aspectos ambientais (4.2.1): a norma define aspectos ambientais como *qualquer elemento das actividades, produtos e serviços que podem interagir com o ambiente*, considerando com um aspecto *muito ambiental* aquilo que *tem ou pode ter um impacte ambiental significativo*.

No caso do ambiente subterrâneo o meio na que a empresa opera é a interacção do ar da atmosfera subterrânea, água subterrânea, maciço rochoso, o homem (no meio subterrâneo e exterior) e a biodiversidade no meio exterior (pela descarga de águas subterrâneas, subsidência, escombros e rejeitados), os que ao sofrer uma alteração da suas condições naturais ocasionadas pela exploração subterrânea provocam impacte ambiental negativo (Tabela 12.3).

O pessoal encarregado dos registos deverá catalogar e categorizar os elementos ambientais em relação a seu impacte e dos que considere importante.

b) Aspectos legais e outros requerimentos (4.2.2): a empresa deve identificar e catalogar os requerimentos de tipo legal ou outro tipo que a empresa haja adoptado para as suas operações. No caso de que o produto seja destinado ao mercado de outros países, como é o caso das minas metálicas, é essencial considerar as leis ambientais aplicáveis do país de origem e destino. No modelo apresentado na Tabela 12.4 considera-se a denominação de leis em muitos países, mas pode variar dum pais a outro.

Tabela 12.3 – Modelos de aspectos e impactes ambientais

Aspectos ambientais	Impactes ambientais
<ul style="list-style-type: none"> ○ Baixa quantidade e velocidade alta/baixa do ar ○ Emissões de gases de motores diesel ○ Emissões de partículas de motores diesel ○ Emissão de gases de detonação de explosivos ○ Emissão de partículas de rocha e metais ○ Emissão de gases e partículas explosivas ○ Emissão acústica e radiação ○ Escoamento de água subterrânea ○ Drenagem ácida de água subterrânea ○ Descarga de águas ácidas e poluídas ○ Instabilidade do maciço rochoso ○ Danos do maciço rochoso ○ Operação com uso de energia eléctrica ○ Geração e disposição de material estéril 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Níveis de gases tóxicos e cancerígenos ○ Níveis de pó ○ Níveis de gases tóxicos ○ Níveis de sílica, etc., metais e pó ○ Níveis de explosão e incêndios ○ Níveis de radiação ○ Níveis de influência na rocha e inundações ○ Impactes na flora, fauna, diversidade e habitat, terras agrícolas e florestais ○ Impacte, no maciço rochoso, flora, fauna e terras agrícolas e florestais ○ Níveis de uso de energia, impacte visual, etc.

c) Objectivos e metas (4.2.3): a norma define como *objectivo ambiental* a que surge da política ambiental que uma empresa estabelece para conseguir realizá-la podendo-se quantificar quando é prático, e como *meta ambiental*, os requerimentos de desempenho detalhados, quantificados quando seja prático, aplicáveis á empresa, ou parte dela, que surgem dos objectivos e precisam ser estabelecidos e realizados para conseguir esses objectivos (Tabela 12.5). Os fins e metas devem concordar com a política ambiental.

d) Programa de gestão ambiental (4.2.4): proporciona elementos necessários para conseguir as políticas da empresa, para garantir a protecção ambiental e permitir uma melhoria constante. Está influenciado pelas políticas, seu aspecto ambiental, leis e normas. O programa consta de passos de acção, recursos e responsabilidades estabelecidas.

Tabela 12.4 – Modelo de identificação e catalogação das normas

Leis e normas relacionadas a aspectos ambientais
<p><i>a) A nível geral</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Leis de segurança, higiene e saúde ○ Lei de ambiental, ar limpo, do ruído ○ Leis de águas superficiais e subterrâneas ○ Lei de poluentes e de protecção ambiental ○ Lei de estudo, avaliação e gestão ambiental ○ Lei de controle e reclamação de mineração superficial e/ou subterrânea ○ Lei de conservação e recuperação de recursos ○ Lei para controle de substâncias perigosas para a saúde e ambiente ○ Lei de planificação de substâncias perigosas ○ Lei de fecho de minas ○ Lei de protecção ambiental da flora, fauna, terras agrícolas e florestais ○ Lei de salubridade pública ○ Lei de zona de protecção ambiental ○ Lei de danos ambientais ○ Lei de disposição de escombros e impacte visual ○ Regulamentos internos de ambiente, segurança, higiene e saúde

Tabela 12.4 (cont.) – Modelo de identificação e catalogação das normas

Leis e normas relacionadas a aspectos ambientais
<p><i>b) Em Portugal</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Decreto-lei Nro.162/90 do 22 de maio de 1990, Regulamento geral de Segurança e Higiene no trabalho nas Minas e Pedreiras ○ Decreto-lei n.o 270/2001 de 6 de Outubro de 2001, Exploração de massas minerais – pedreiras ○ Decreto Regulamentar n.º 09/92 do 28 de Abril, Regulamentação sobre ruído ○ Decreto-lei n.o 292/2000 de 14 de Novembro de 2000, Regulamento geral do ruído ○ Decreto-lei n.o 236/98 de 1 de Agosto de 1998, Lei de Águas, etc. <p><i>c) Em Peru</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ D.S. No 014-92-EM de 04 de Julho de 1992, Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería ○ D.L.No. 613-90-PE de 07 de Setembro 1990, Código del Medio Ambiente y Recursos Naturales ○ Ley No. 26786 del 12 de Maio de 1997, Ley de Evaluación de Impacte Ambiental para Obras y Actividades ○ D.S. No. 016-93-EM de 28 de Abril de 1993, Reglamento para la protección Ambiental en la actividad minero – metalúrgica <p>D.S. No 023-92-EM de 09 de outubro de 1992, Reglamento de Seguridad e Higiene Minera, etc</p>

As ferramentas para pôr em prática o programa de controle ambiental são: processo de documentos; práticas; procedimentos; capacitação e consciencialização do pessoal; e plano de emergência.

Como aspecto importante, o programa de controle ambiental deve designar responsabilidades para cumprir com os objectivos e metas estabelecendo o tempo requerido.

O organograma proposto é para uma mina subterrânea com produção considerada grande (≥ 2500 t/dia), que para o caso de empresas menores ou com sistema de exploração não complexa a estrutura orgânica pode ser simplificado (fig.12.5).

12.2.6. Implementação e operação (4.3)

A implantação prática de um EMS adequado numa organização pode facilitar a identificação de impactes e riscos ambientais actuais e potenciais, além permitir estabelecer objectivos e metas incluindo desenvolvimento de estratégias eficientes para minimizar os riscos ambientais nas operações. Na implantação e operação do EMS serão avaliados os elementos indicados na Tabela 12.6.

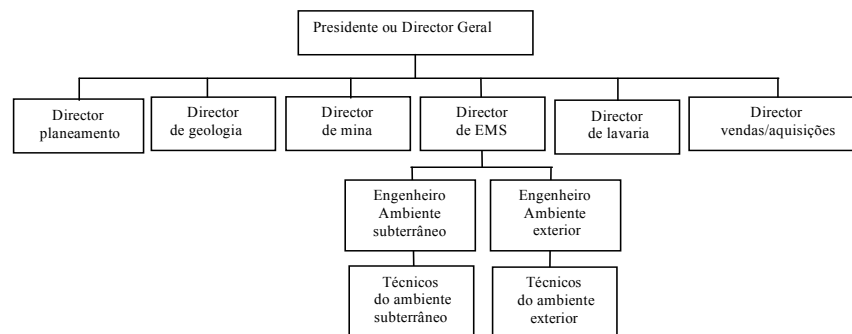


Figura 12.5 – Proposta dum modelo da estrutura orgânica duma empresa mineira que explora pelo método subterrâneo, com detalhe do departamento de EMS

Tabela 12.5 – Modelo de definição de objectivos e metas para a gestão do ambiente subterrâneo de uma mina em operação

Objectivos e metas para o ambiente subterrâneo da empresa mineira
<p>a) <i>Objectivo: Prevenir e reduzir as emissões de poeiras e gases</i></p> <p>Metas:</p> <ul style="list-style-type: none">○ <i>Avaliar e pôr em prática acções para dotar de caudal e velocidade de ar adequados</i> Dotar de um caudal de ar maior ao mínimo admissível em 100% do ambiente para 2005 Dotar de ar com velocidade admissível em 100% do ambiente para 2005○ <i>Realizar o estudo do impacte ambiental e pôr em prática para prevenir e reduzir as emissões de poeiras e gases de equipamentos com motor diesel – gases da detonação de explosivos</i> Dotar de sistemas de filtro e catalisador de gases ao 100% dos equipamentos diesel para 2004 Reduzir a concentração e poeiras ao nível permissível em 50% dos desmontes para 2004 Reduzir a concentração e poeiras ao nível permissível em 100% dos desmontes para 2005○ <i>Realizar o estudo de impacte ambiental e pôr em prática para prevenir e reduzir as emissões de poeiras de rochas, minerais e metais</i> Reduzir a níveis permissíveis a concentração da sílica livre em 60% dos desmontes para 2004 Reduzir a níveis permissíveis a concentração da sílica livre em 100% dos desmontes para 2006 Reduzir a níveis permissíveis a concentração de metais tóxicos em 90% dos desmontes para 2005○ <i>Avaliar e pôr em prática acções para reduzir o risco de explosões e incêndios</i> Reduzir a níveis permissíveis a emissão do metano em 90% dos desmontes para 2005 Reduzir a níveis aceitáveis a concentração do pó de carvão em 100% dos desmontes para 2006 <p>b) <i>Objectivo: Prevenir e reduzir as emissões acústicas e radiação</i></p> <p>Meta:</p> <ul style="list-style-type: none">○ <i>Avaliar o impacte ambiental acústico e de radiação e pôr em prática acções de redução e de protecção</i> Dotar de sistemas de protecção do ouvido adequados ao 100% do pessoal afectado para 2004 Capacitar sobre as causas e consequências do ruído e radiação ao 100% do pessoal para 2006 Dotar de sistemas de protecção para a radiação ao 100% do pessoal afectado para 20034 <p>c) <i>Objectivo: Prevenir e reduzir as descargas de água subterrânea</i></p> <p>Metas:</p> <ul style="list-style-type: none">○ <i>Avaliar o impacte ambiental devido à presença do caudal de água nos frentes de trabalho</i> Sistema de bombagem adequado para controle de água que precisam controle por esgoto, Novembro 2004 Sistema de valetas para controle de água em zonas de drenagem por gravidade, Novembro 2004○ <i>Avaliar o impacte ambiental devido a descarga de água de minas</i> Obtenção do pH da água de níveis permissíveis para Julho de 2004 Reduzir a níveis permissíveis a concentração de metais para Fevereiro de 2004 <p>d) <i>Objectivo: Prevenir e reduzir o risco ambiental por instabilidade e desprendimento de rochas</i></p> <p>Metas:</p> <ul style="list-style-type: none">○ <i>Avaliar todos os processos de escavação ou abertura em rochas para reduzir em 40% de acidentes para 2004, 65% para 2005 e 100% para 2006</i>○ <i>Avaliar o comportamento geotécnico do maciço rochoso na parte superior da zona dos desmontes para prevenir o risco de subsidência para 2005</i>○ <i>Iniciar com a mudança do método de exploração subterrânea mais adequado a partir do primeiro trimestre de 2006</i>

a) Estrutura e responsabilidade (4.3.1): da organização dum empresa é expressa num organograma que reflecte a estrutura administrativa, responsabilidades, organização e autoridade, sendo importante o apoio da presidência ou direcção geral, a gerência de linha e os empregados (fig. 12.5).

Tabela 12.6 – Modelo de elementos típicos do programa de gestão ambiental

Elementos típicos de um programa de gestão ambiental	
○	Estrutura administrativa, responsabilidades, organização e autoridade (organograma, fig. 4.54)
○	Processo de controles ambientais em todas as actividades do processo operacional
○	Recursos (pessoal adequado, recursos financeiros, equipamentos, materiais, energia, etc.)
○	Processo para estabelecer objectivos e metas para conseguir as políticas ambientais
○	Procedimentos e controles operativos a serem utilizados
○	Capacitação
○	Sistema de medição e auditoria
○	Revisão administrativa e panorama geral

A empresa que se comprometa a um EMS efectivo, deverá cumprir com as leis e normas e a prevenção ambiental estará no caminho do progresso ambiental, mas uma empresa que não pratique efectivamente não poderá obter benefícios ambientais.

A responsabilidade ambiental deve ser distribuída desde níveis superiores até os empregados, aspecto que permitirá proporcionar uma retroalimentação regular aos directivos e empregados sobre o cumprimento do SEM, seus avanços, etc. que permitam atingir os objectivos e metas e a política ambiental da empresa.

b) Capacitação, conscientização e competência (4.3.2): a empresa deve especificar os tipos de capacitação que deverão ser proporcionados tais como: treinamento para a consciencialização geral; e competência para os empregados realizar com uma acção de terminada (Tabela 12.7). É provável seja necessário capacitar, também, a os empreiteiros e fornecedores cujas acções poderiam gerar impacte ambientais na empresa.

Tabela 12.7 – Capacitação, toma de consciencialização e competência (Martin, R., 1998)

Tipo de capacitação	Audiência	Propósito
Elevada consciência sobre a estratégica importância do EMS	Directores e gerentes de alto nível	Compromisso com a política ambiental e melhoria contínua
Elevada consciência ambiental	Todos o empregados	Compromisso com a política, objectivos, metas e responsabilidade ambiental
Desenvolvimento de habilidades	Empregados com responsabilidade ambiental	Melhor desempenho em áreas específicas, operações e engenharia
Complacência	Empregados cujas acções possam afectar complacência	Assegurar que as normas e exigências internas sejam de conhecimento

Todo o pessoal relacionado com assuntos ambientais deverá conhecer o impacte actual ou potencial de suas actividades laborais, papel que desempenham e a sua responsabilidade, e as consequências que poderia ocasionar a falta de seguimento do procedimento (Tabela 12.8).

Tabela 12.8 – Modelo de capacitação para empregados de uma empresa mineira

Tipos de capacitação
<p>a). <i>Capacitação sobre emissões perigosas, água subterrânea e instabilidade de rochas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Capacitação sobre poeiras e gases tóxicos e explosivos perigosos ○ Capacitação sobre a acção das inundações e águas ácidas e poluídas ○ Capacitação sobre os riscos da instabilidade e desprendimento de rochas ○ Capacitação sobre a acção no caso de situações de emergência ○ Capacitação de percepção geral, funções e segurança em actividades de risco ambiental <p>b). <i>Capacitação em prevenção, preparação e resposta a emergências</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Capacitação para o controle e segurança de acções em condições de risco ambiental ○ Capacitação de resposta a emergências ambientais <p>c). <i>Outras capacitações</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Capacitação de operadores do sistema ambiental com um mínimo impacte ○ Capacitação sobre consciência ambiental para cumprir com a política e procedimentos ambientais e requerimentos do EMS.

O controle da capacitação do pessoal de empresas empreiteiro deve ser estabelecido quando se dão identificações de segurança, mediante manuais de procedimentos antes do início de actividades, seminários de capacitação obrigatórias para empreiteiros com periodicidade, vídeos e inspecções sobre a conformidade no cumprimento. Caso seja de ser detectada violação das normas e procedimentos, outorgar capacitação adicional.

c). Comunicação (4.3.3): a empresa deve estabelecer procedimentos para: a) Manter comunicação interna entre diversas funções e níveis da organização; e b) Receber, documentar e responder as comunicações importantes de interessados externos em relação a aspectos ambientais e o SEM (Tabela 12.9).

Tabela 12.9– Modelo de comunicação interna e externa

Comunicação interna e externa
<ul style="list-style-type: none"> ○ Apresentações periódicas da equipa de gestão e empregados sobre aspectos ambientais ○ Reuniões abertas para famílias de empregados, a comunidade que rodeia e funções públicas ○ Capacitação em percepção ambiental para empregados, empreiteiros e fornecedores ○ Comunicação escrita em forma de publicação periódica ou informe anual ○ Uso de um número telefónico livre para retroalimentação de público em geral

Portanto, a comunicação com os empregados, com os vizinhos e com outros membros do público interessados e os clientes é a chave para o bom controle ambiental.

d) Documentação do sistema de gestão ambiental EMS e controle de documentos (4.3.4 e 4.3.5): a empresa deve assegurar que o oficial de registo encontre uma compatibilidade entre o processo documentado e o que na realidade se pratica, que pode ser escrito sobre papel ou em suporte informático. O suporte informático permite organizar e distribuir a informação com muita facilidade. A documentação deve conter data de elaboração, revisão e actualização.

È importante aplicar o ditado: “comunique o que faz e faça o que diz”.

Deve-se estabelecer um procedimento para definir a maneira como serão controlados os documentos relacionados com o sistema de gestão ambiental, conservando-se arquivos organizados e de fácil identificação. Os elementos de controle de documentos são: data de

emissão e de revisão (assinatura); identificação do documento; número de cópia e referências.

e) Controle operacional (4.3.6): a nível *geral* a empresa deve identificar aquelas operações e actividades associados com aspectos ambientais importantes em concordância a sua política, objectivos e metas e assegurar a sua realização (Tabela 12.10).

Tabela 12.10 – Modelo de procedimentos para controle operacional

Controle operacional	
a) <i>Geral</i>	
o	O estabelecimento e mantimento de procedimentos documentados que cubram situações nas que sua ausência poderia produzir as mudanças da política ambiental e seus objectivos e metas
o	Estabelecimento de critérios de operação nos procedimentos
o	Estabelecimento e mantimento de procedimentos relacionados com aspectos ambientais importantes de bens e serviços utilizados pela organização e comunicar sobre procedimentos e requisitos importantes para fornecedores e empreiteiros
b) <i>Fornecedores</i>	
o	Pedir informação a fornecedores ou empreiteiros sobre actividades, materiais a usar, possíveis descargas ambientais e impactes experimentados por eles
o	Exigir que os fornecedores e empreiteiros tenham seu próprio EMS registado
o	Supervisar as instalações dos fornecedores e empreiteiros para garantir o cumprimento do EMS

A empresa deve estar segura de que os fornecedores e empreiteiros compreendam e estejam conscientes sobre o EMS da empresa, de modo que não cometam falhas no seu cumprimento.

O processo de controle das operações devem-se realizar antes, durante e depois do processo operacional, de forma que seja possível tomar medidas correctivas oportunas (fig. 12.6).

f) Preparação e resposta a emergências (4.3.7): os procedimentos de controle operacional estão à frente da linha de defesa para qualquer necessidade de resposta de emergência. Mas, a necessidade de estar preparado para uma emergência é parte crítica do EMS. No caso de surgir uma emergência, uma resposta organizada e competente ajudará a minimizar qualquer dano à saúde humana e ao ambiente, pelo que é necessário ter um plano de emergência (Tabela 12.11).

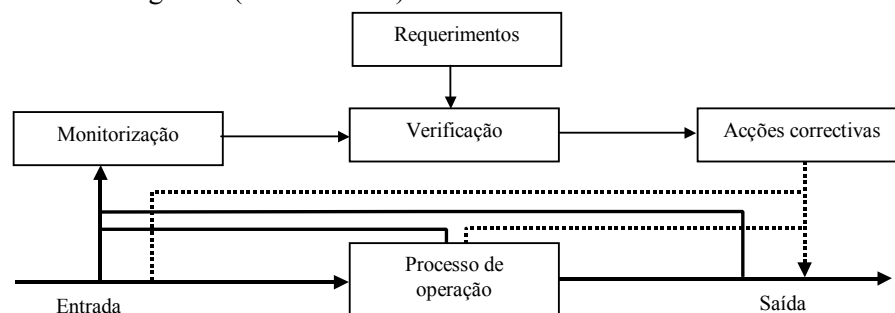


Figura 12.6 – Processo de controle operacional no EMS

As técnicas podem incluir capacitação do pessoal, certificação de operadores de equipamentos e sistemas, participação em grupos de planificação de emergência da comunidade, desenvolvimento de grupos de investigação de acidentes e incidentes, participação em investigações e conferências, desenvolvimento de programas de segurança e saúde.

12.2.7. Verificação e acções correctivas (4.4)

Consiste na verificação ou vigilância de actividades relacionadas com o EMS, assim como aos meios e métodos para tomar as medidas correctivas, no caso de detectarem deficiências.

a) Monitorização e medição (4.4.1): consiste na colecção constante de dados e um rasteio continuo de parâmetros especificados, para avaliar o avanço do EMS e cumprimento dos objectivos e metas ambientais estabelecidos (Tabela 12.12). Um sistema de monitorização e medição deve compreender:

- . Procedimentos para a monitorização e medição dos aspectos chave das operações e actividades que podem ter impacte significativo;
- . Mecanismo para registar a informação que rasteie o desempenho e controle das operações importantes;
- . Procedimento para calibração dos equipamentos, a fim de garantir que os registos sejam representativos e fiáveis (Tabela 12.13);
- . Procedimento para avaliar periodicamente o cumprimento das leis e regulamentos ambientais.

A ISO 14001 exige que a empresa estabeleça e mantenha um procedimento documentado de leis normas ambientais para avaliar periodicamente o cumprimento destas leis e normas (Tabela 12.14).

Tabela 12.11 – Modelo de desenvolvimento dum plano de emergência

Elementos a considerar num plano de emergência
<p><i>a) Elementos de planificação</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Identificação e descrição de áreas de armazenagem e uso de substâncias perigosas (paiol, reactivos químicos, etc.) ○ Identificação de áreas sensíveis que podem ser afectados pelas emissões perigosas (escolas, hospitais, habitat silvestre, etc.) ○ Documentação de métodos usados para determinar a ocorrência da emissão duma substância perigosa ○ Descrição de métodos para avaliar áreas susceptíveis a uma emissão constante ○ Instruções para uso do plano e registar a listagem das organizações e pessoas que recebem este plano <p><i>b) Operações, direcção e controle</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Designar um coordenador de emergência que determinará quando pôr em prática o plano ○ Designar pessoal capacitado em resposta a emergências (especialistas em materiais perigosos, médicos, de segurança e enlace de comunicações) ○ Descrever os métodos de comunicação a usar entre os participantes

Tabela 12.11 (cont.) – Modelo de desenvolvimento dum plano de emergência

Elementos a considerar num plano de emergência
<ul style="list-style-type: none"> o Descrever procedimentos de entrada e saída dos participantes da área do incidente, envolvendo precauções do segurança, vigilância médica e equipa protector do pessoal o Descrição de procedimento ante uma emissão de substância perigosa o Identificar assistência exterior como: bombeiros, polícia e assistência médica o Números telefónicos de emergência e listas de nomes e números de organizações e agencias a serem notificados em caso de emergência
<p><i>c) Administração de recursos</i></p> <ul style="list-style-type: none"> o Descrição da equipa de emergência e equipa auxiliar na comunidade o Lista de recursos e pessoal disponível para caso de emergências o Descrição do programa de capacitação para pessoal das instalações
<p><i>d) Medidas de protecção do pessoal e procedimentos de evacuação</i></p> <ul style="list-style-type: none"> o Descrição dos planos de evacuação das instalações <p>Informação sobre evacuações precautórias especiais e sobre instalações que proporcionem alimentação, abrigo e atenção médica da população deslocada</p>

b) Inconformidade e acção correctiva e preventiva (4.4.2): inconformidade é o desvio entre o EMS e os requerimentos da ISO 14001 e não se deve confundir com o incumprimento. Podendo incluir a política, objectivos e metas, estrutura e responsabilidade, planos de capacitação, requerimentos operacionais, programa de calibração de equipamentos, registos, controle de documentos, preparação para emergências e procedimentos de resposta, monitorização e medição de planos, auditorias EMS e revisão de documentação administrativa e implantação das melhoras do EMS (Tabela 12.15).

Tabela 12.12 – Modelo de monitorização e método de medição

Métodos de monitorização e medição	
Características chave	Métodos de monitorização e medição
<p><i>a). Caudal, velocidade e temperatura do ar</i></p> <ul style="list-style-type: none"> . Pouco caudal de ar em alguns locais . Velocidade e temperatura alta/baixa em alguns locais 	<ul style="list-style-type: none"> . Sistemas de medição com anemómetros . Sistemas de medição com termómetros
<p><i>b). Emissões ao ar</i></p> <ul style="list-style-type: none"> . Inventário de emissões tóxicas . Concentração de poeira, sílica livre, etc. . Metano e poeira de carvão . Ruído e radiação de elementos radioactivos 	<ul style="list-style-type: none"> . Sistema de medição com detectores de gás . Amostras de poeira com bombas pessoais e de alto volume . Sistemas de medição do nível de ruído e radiação
<p><i>c). Caudal e drenagem ácida</i></p> <ul style="list-style-type: none"> . Caudal de água nas frentes de trabalho . Concentração de sólidos e metais . Baixo pH pela drenagem ácida . Gorduras e óleo gerados pela operação 	<ul style="list-style-type: none"> . Sistemas de medição de água conhecidos . Amostragem da descarga na boca da mina . Amostragem da água superficial a montante e jusante

Tabela 12.12 – Modelo de monitorização e método de medição

Métodos de monitorização e medição	
Características chave	Métodos de monitorização e medição
<p>d). <i>Instabilidade e desabamento de rochas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> . Parâmetros geotécnicos/geomecânicos rochas . Parâmetros dinâmicos do maciço rochoso . Dimensão de aberturas e planos de fogo 	<ul style="list-style-type: none"> . Amostragem e ensaios em laboratório de mecânica das rochas . Ensaios <i>in situ</i> para determinar as tensões e parâmetros dinâmicos
<p>e). <i>Uso de energia</i></p> <ul style="list-style-type: none"> . Energia consumida 	<ul style="list-style-type: none"> . Facturas de energia eléctrica . Inventário (potência) de equipamentos eléctricos e tempo de funcionamento
<p>Nota: O inventário de emissões tóxicas, concentração de sólidos e metais e outros poluentes no ar e água devem ser os indicados nas normas legais ou padrões internacionais. Os sistemas de medição devem ser os segundo aceites pelos organismos de qualidade de cada país ou instituições internacionais como EPA, MSHA, ISO, ISRM, etc.</p>	

Tabela 12.13 – Modelo de matriz de calibração de equipamentos

Equipamento	Frequência	Equipamento	Frequência
Anemómetros	Mensal	Sensor de pH	Diária
Detector de gás	Antes de cada uso	Espectómetro	Diária
Colector de poeiras	Antes de cada uso	Sensor de temperatura	Trimestral
Detector de chama	Semanal	Ensaio compressão uni-axial	Antes do ensaio
Termómetro	Antes de cada uso	Ensaio compressão triaxial	Antes do ensaio
Alarme alta concentração	Mensal	Ensaio de resistência á tracção	Antes do ensaio
Sonómetro	Antes de cada uso	Ensaio dinâmicos, etc.	Antes do ensaio
Medidor de radiação	Antes de cada uso		
Medidor de fluxo	Semanal		
<p>Nota: A frequência de calibração dos equipamentos a serem utilizados deve ser concordante com as exigências das normas legais e entidades de normas de qualidade como EPA, MSHA, ISO, ISRM, etc.</p>			

Tabela 12.14 – Modelo de procedimento para cumprimento de leis e normas

Cumprimento de leis e normas
<ul style="list-style-type: none"> o Revisão de documentação legal sobre o volume, velocidade e a temperatura do ar, relatório governamental requerido, plano e notificações de restrições, registos de capacitação, inspecções, registos de medições, estudos e medidas correctivas aplicadas e outras informações. o Revisão de documentos legais de emissões de poeiras e gases de motores diesel, concentração de poeiras, sílica, metais, metano, pó de carvão, etc., autorizações de uso de equipamentos, relatórios, monitorização e medições, horas de operação, registos de eficiência do sistema de controle, registos de consumo de gasóleo, inventário de emissões, etc. o Revisão de documentação legal sobre caudal e descarga de água subterrânea, incluindo dados de relatórios de medições e monitorização na descarga, a montante e a jusante da descarga nos rios, plano de controle e resultados, dados e relatórios sobre a acidez e toxicidade do efluente, etc. o Revisão de documentação sobre o processo de padronização e controle sobre a instabilidade e desprendimento de rochas, incluindo ensaios <i>in situ</i> e em laboratório, medições e monitorizações de deformações, caracterização geotécnica local, etc., medidas de controle e resultados. o Revisão de documentação sobre inspecções para garantir uma gestão eficiente, colocação adequada de avisos sobre riscos e qualidade do ambiente, sinais de advertências, etc. registos sobre inspecção e manutenção adequada de equipamentos de controle ambiental.

Tabela 12.15 – Modelo de procedimento para gestão da inconformidade

Aspectos a considerar para a gestão da inconformidade
○ Identificação das causas da inconformidade ou outros métodos
○ Identificação de opções para acção correctiva e preventiva, incluindo modificação ou outros controles
○ Capacitação do pessoal
○ Implementação de um plano para acção de medidas correctivas

c) Registos (4.4.3): é fundamental manter os registos ambientais do EMS. Estes registos permitirão que a empresa mostre a conformidade da gestão ambiental com a ISO 14001, assim como avaliar o progresso para atingir os objectivos e metas ambientais (Tabela 12.16).

Tabela 12.16 – Modelo de registos ambientais da empresa

Registos ambientais da empresa
○ Relatórios de incidentes e queixas
○ Informação de empreiteiros e fornecedores, do processo operacional e produto obtido
○ Registo de inconformidade e acção correctiva e preventiva
○ Procedimentos para preparação e resposta a emergências
○ Registos de revisão da direcção, auditoria, inspecção governamental, capacitação e vigilância
○ Registos da inspecção e calibração dos equipamentos
○ Registos relacionados com impactes ambientais e leis ou normas ambientais

d). Auditoria de sistemas de administração ambiental (4.4.4): a auditoria EMS deve permitir que a empresa determine se o sistema:

- Está consoante ao planificado para o controle ambiental, incluindo requerimentos da ISO 14001;
- Foi devidamente aplicado e mantido para a sua realização;
- Proporciona informação sobre os resultados da auditoria EMS á direcção, para a sua revisão.

Os procedimentos do programa de auditoria devem especificar a frequência das auditorias, o âmbito de acção, metodologias, responsabilidades e requerimentos para o processo e apresentação dos resultados.

É conveniente distinguir entre a auditoria EMS exigida pela ISO 14001 e a auditoria de registo feita pelos serviços oficiais, para fins de certificação.

A auditoria pode ser conduzida pelo pessoal da empresa ou por uma equipa de auditoria de terceiras partes. No primeiro caso deve haver um mecanismo para assegurar a objectividade.

É importante lembrar que esta auditoria é uma auditoria do EMS, mas não do desempenho ambiental da empresa. Portanto os critérios são estabelecidos pela empresa e contra estes critérios é que se pratica a auditoria.

O método para a colheita de provas pode incluir: entrevistas ao pessoal; exame dos documentos; observação das actividades; observação das condições; dados de prova; dados de monitorização e outros registos. O relatório da auditoria e as descobertas têm um carácter confidencial e contem informação importantes(Tabela 12.17).

Tabela 12.17 – Modelo de temas a considerar no relatório de auditoria EMS

Temas a considerar no relatório da auditoria EMS
<i>a) Organização e pessoal</i> <ul style="list-style-type: none">○ Nome da empresa auditada e estrutura da organização○ Nomes dos directores e do pessoal que participam na auditoria como auditados○ Nomes da equipa de auditoria. Nome da empresa de terceiro auditor (se for o caso)
<i>b) Protocolo do auditor</i> <ul style="list-style-type: none">○ Âmbito, objectivos e plano de auditoria○ Critérios de auditoria acordados (deve incluir lista de documentos de referência contra os quais se realiza a auditoria)○ Período da auditoria e lista de distribuição do relatório
<i>c) Descobrimientos da auditoria</i> <ul style="list-style-type: none">○ Identificação dos dados confidenciais associados com o conteúdo da auditoria○ Resumo do processo da auditoria○ Descobrimientos da auditoria e conclusões em relação à conformidade da EMS com os critérios de auditoria SEM○ Descobrimientos da auditoria e conclusões em relação se o sistema foi praticado e mantido devidamente.○ Descobrimiento da auditoria e conclusões em relação ao processo de revisão interna se é capaz de assegurar a qualidade do EMS

12.2.8. Revisão administrativa (4.5)

Proporciona a ligação entre a política ambiental da empresa, as suas metas a longo prazo, os resultados ambientais e a melhoria constante. Segundo ISO 14001 deve-se realizar e documentar a revisão da direcção a intervalos de tempo determinados para assegurar que o EMS seja conveniente, adequado e efectivo.

A direcção tem responsabilidades únicas e exclusivas dentro da ISO 14001, que são: política e estratégia ambiental; opinião e acção sobre a revisão do EMS e resultados da auditoria; opinião e acção sobre resultados de desempenho ambiental; acções de melhoria contínua; atribuição do pessoal capacitado; organização adequada; recursos financeiros e tecnológicos.

Uma revisão administrativa apropriada deve garantir a informação seguinte:

- Revisão administrativa anterior e resultados de auditoria;
- Objectivos e metas ambientais frente aos resultados de desempenho;
- Nova legislação;
- Novas expectativas de grupos interessados;
- Mudanças aplicáveis na tecnologia, incluindo processos de trabalho;
- Posição financeira e competitiva da organização;
- Áreas e actividades do negócio;
- Preferências do mercado;
- Incidentes ambientais, inconformidade e acção correctiva.

O pessoal administrativo ambiental deve assegurar uma revisão administrativa produtiva e efectiva. As suas funções são: salientar problemas actuais e emergentes; coordenar com auditores EMS; supervisionar o EMS com os indicadores de processos e

desempenho que se usam; proporcionar guias sobre medidas de desempenho ambiental a órgãos de linha e de apoio; e colheita, análise e revisão das medidas de desempenho ambiental. Para a revisão administrativa a direcção pode utilizar métodos formais ou informais (Tabela 12.18).

Finalmente, é possível a modificação dos objectivos e metas ambientais, no caso de existir uma justificação técnica e económica para a sua realização.

Tabela 12.18 – Modelo do procedimento para a revisão administrativa

Métodos formais	Métodos informais
<ul style="list-style-type: none">○ Actualização e revisão regular duma série de indicadores ambientais (representação gráfica)○ Revisão do programa e processos, mediante: requerimentos, fluxos do processo, procedimentos, dependências de funções, medições, pontos de controle e elementos conexos.○ Revisão de inconformidade e tempo real revisado	<ul style="list-style-type: none">○ Discussões de funcionários de nível igual e que administram operações similares○ Revisões não programadas○ Comunicações telefónicas, Email, etc.○ Reuniões pessoais

12.3. Sistema de gestão do ambiente, saúde e segurança ocupacional EHSMS

12.3.1. Sistema de gestão de ambiente, saúde e segurança EHS/EHSMS

Um sistema de gestão integrado do ambiente, saúde e segurança é conhecido como EHS ou como EHSMS por as suas denominações em língua inglesa *Environmental, Health and Safety* e *Environmental, Health and Safety Management System*, respectivamente. Este sistema permite assegurar a boa saúde e segurança no trabalho do pessoal, minimizar qualquer impacte adverso que as suas actividades possam causar ao meio ambiente e contribuir positivamente para a vida da comunidade local.

Trata-se dum sistema integrado da gestão ambiental EMS (*Environmental Management System*) e a gestão de saúde e segurança denominado OHSMS (*Occupation Health and Safety Management System*).

Como já foi referido, o EMS (ISO 14001) é um processo cíclico e de melhora contínua para uma eficiente protecção ambiental (fig.12.7).

Cook, Adrian (2001) indica que o OHSMS está estabelecido basicamente por: política; planeamento; implementação; monitorização e correcção; também de carácter cíclico e melhora contínua (fig.12.8). O OHSMS permite uma administração da saúde e segurança ocupacional (OHS) integrado na estrutura de gestão empresarial e obter consciência e responsabilidade pelo OHS, realizar as medições da performance do sistema em forma planificada, usar processo de auditoria administrativa apropriado, adoptar um processo de melhoria contínuo e reduzir acidentes, danos e custos.

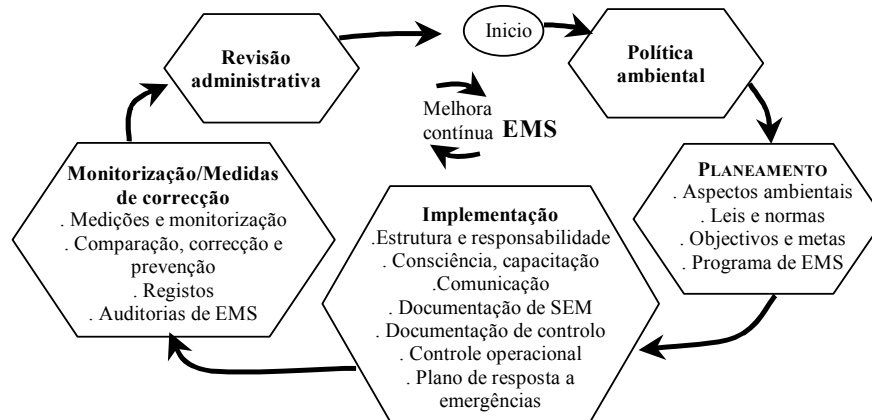


Figura 12.7 – Processo do sistema de gestão ambiental EMS (McLean, R. et al., 2000)

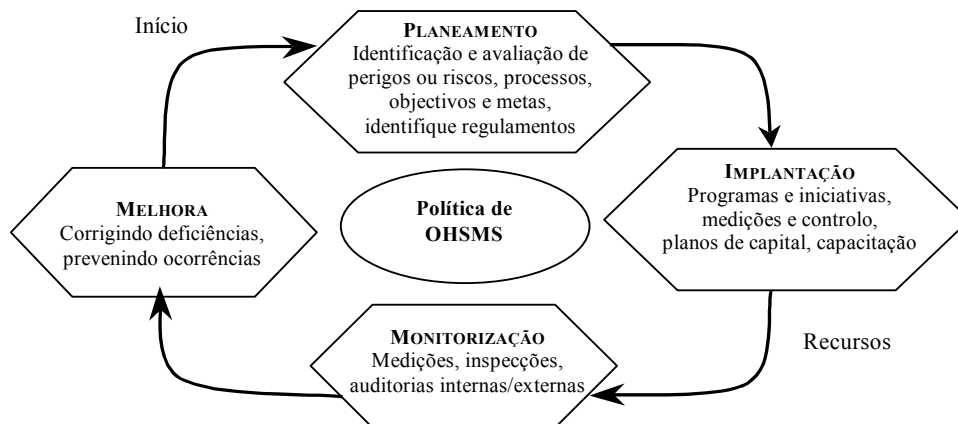


Figura 12.8 – Processo do sistema de gestão de saúde e segurança OHSMS (Cook, Adrian, 2001)

Kloepfer, Robert, (1995) considera que o sistema de gestão integrado EHSMS é composto de 10 passos, sendo a sua implementação: 1. Organização e dotação de pessoal adequado; 2. Políticas e procedimentos; 3. Planeamento; 4. Programas do sistema de gestão; 5. Avaliação e revisão; 6. Gestão dos sistemas de informação; 7. Registo e orçamento; 8. Objectivos e metas; 9. Vigilância legal e regulamentar; 10. Gestão de riscos e perdas.

KOGAS também considera 10 elementos principais como requerimentos da política, implementação e operação do EHSMS (fig. 3.55).

Comparando o EMS com o OHSMS ilustradas na fig. 12.7 e fig. 12.8 respectivamente, é obvio que têm características semelhantes tanto no processo como na estrutura, portanto um sistema de gestão integrado de gestão do ambiente, saúde e segurança EHSMS em termos gerais compreende quatro aspectos principais: políticas do EHS; planificação; implementação e operações e monitorização/medidas correctivas; composto por 10 elementos (fig. 12.9 e fig. 12.10).

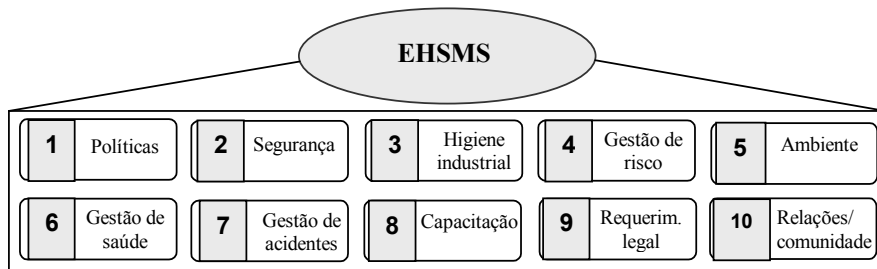


Figura 12.9 – Requisitos do EHSMS (Korea GAS Corporation, <http://www.kogas.or.kr/english/kogasready/EHS1.pdf>)

A etapa da planificação compreende: integração de aspectos ambientais, de saúde e segurança; identificação e avaliação de perigos ou riscos; processos; definição de objectivos e metas; identificação de regulamentos leis e normas aplicáveis, definição do programa de EMS e determinação do requerimento económico.

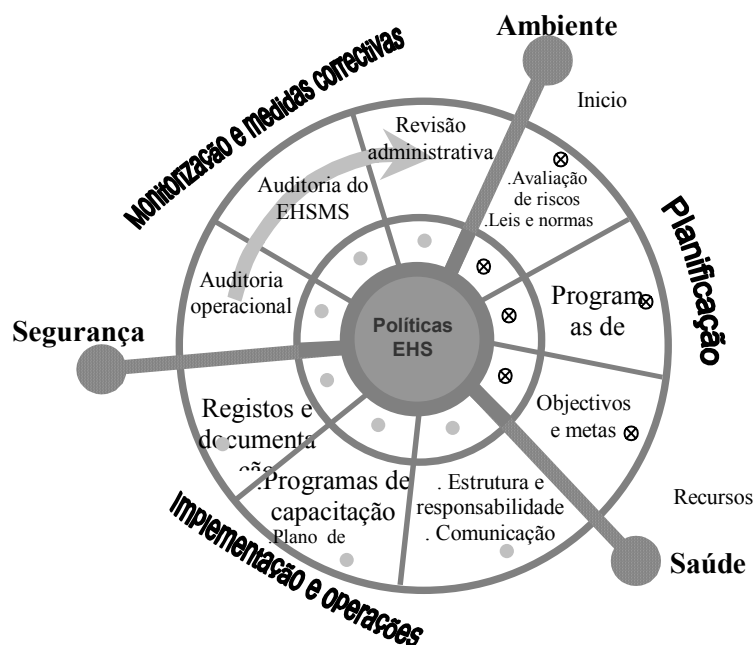


Figura 12.10 – Gestão do Ambiente, Segurança e Saúde EHSMS (ALCOA, 1999)

A etapa de implementação e operações compreende: definir a estrutura e responsabilidades; capacitação e criação de consciência do pessoal; comunicação; documentação do EHSMS e de controle; controle operacional e plano de resposta a emergências.

Finalmente a parte da monitorização e medidas correctivas compreende: medições e monitorização; comparação de resultados de medições com o planificado; correcção e prevenção; registos; auditorias internas e externas e revisão administrativa.

12.3.2. Políticas

Para melhor compreensão das políticas de EHSMS de uma empresa de mineração a seguir se enunciam as políticas adoptadas por algumas conhecidas empresas mineiras.

A política de Meio Ambiente, Saúde e Segurança no Trabalho do Grupo Rio Tinto entende que a excelência na gestão das responsabilidades em saúde, segurança e meio ambiente é essencial para o êxito duradouro da empresa. Através de práticas de gestão eficazes, o grupo busca assegurar a saúde e segurança no trabalho aos seus empregados, minimizar qualquer impacto adverso que as suas actividades possam causar ao meio ambiente e contribuir positivamente para a vida da comunidade local (<http://www.riotinto.com.br/pubc02.htm>).

Para alcançar estes objectivos o grupo Rio Tinto, propõe-se desenvolver suas actividades sobre uma base sólida de cumprimento das leis, regulamentos e compromissos voluntários de EHS aplicáveis.

Procurar o melhoramento contínuo através do estabelecimento e revisão de metas, avaliação e relato do desempenho em EHS e utilização das melhores práticas disponíveis adequadas à situação local.

Contribuir para o desenvolvimento de legislação e regulamentos consistentes; promover uma melhor compreensão das questões de EHS pertinentes as suas actividades.

Outra referência importante é da Nabalco que faz parte do Grupo Alcan, que é uma empresa Australiana dedicada á exploração do Alumínio, e considera às suas políticas do EHS de maneira detalhada na Tabela 12.19.

Adicionalmente, a Nabalco considera políticas ante a comunidade, baseadas no lema seguinte: "*Trabalhando com as Pessoas e o Ambiente*", dando importância as efectivas relações com as comunidades.

As relações com a comunidade estão baseadas na confiança, dignidade e respeito mútuo, assumindo o compromisso para desenvolvimento em longo prazo. A Política ante a comunidade tem vários princípios chave: educação e capacitação; consulta; compreensão e comunicação.

Tabela 12.19 – Política de ambiente, saúde e segurança de Nabalco (Grimonnd, D., 2002)

Ambiente	Saúde e Segurança
<p>Nabalco reconhece que a protecção ambiental é parte essencial das suas operações. Seus objectivos são:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Manter uma melhor prática do sistema de gestão ambiental; ○ Operar de uma maneira ambientalmente responsável; ○ Monitorização e esforço contínuo na minimização do impacto da suas operações no ambiente natural; 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Nabalco acredita que todos os danos e acidentes são evitáveis e que nenhum trabalho é tão urgente que não pode ser feito com segurança. Este é uma boa gestão para prevenir os danos à saúde e doenças. ○ Padrões de saúde profissional e grau de segurança igualmente com outras companhias comparáveis. ○ As obrigações de saúde e segurança de acordo com as normas legais pertinentes em vigor. ○ Nabalco adopta um sistema comum de gestão de saúde profissional e saúde para seu próprio pessoal e dos empreiteiros.

Tabela 12.19 (cont.)– Política de ambiente, saúde e segurança de Nobalco (Grimonnd, D., 2002)

Ambiente	Saúde e Segurança
<ul style="list-style-type: none">○ Assegurar a conformidade no cumprimento de todas as normas legais;○ Uso eficiente de matérias-primas;○ Manter planos de emergência ante possíveis riscos ambientais;○ Assegurar que todos os empregados e pessoal de empresas empreiteiras tenham consciência ambiental;○ Incluir protecção ambiental para novos desenvolvimentos; Comunicação efectiva sobre a gestão ambiental á comunidade	<ul style="list-style-type: none">○ O sistema deverá abranger o perigo e análise de risco, informação, instrução e capacitação com o propósito de eliminar danos á saúde, doenças ou perdas.○ Competência em saúde profissional e assuntos de segurança é tão importante quanto outras competências de trabalho.○ Os desvios a os valores dos padrões de saúde profissional e segurança no processo operacional são inaceitáveis. O pessoal é responsável pela sua própria segurança e dos que trabalham próximo a ele

Estes princípios serão cruciais alcançando no futuro o sucesso para a compreensão. A performance de comunicações e ligações com a comunidade deve ser monitorizado continuamente.

A manutenção das efectivas relações é um aspecto fundamental do planeamento empresarial em longo prazo constituindo parte das metas e objectivos.

Baseadas nas políticas adoptadas por as duas organizações pode-se definir que a política do SHEMS de uma empresa mineira é buscar assegurar a saúde e segurança no trabalho dos seus empregados, minimizar qualquer impacte adverso que as suas actividades possam causar ao meio ambiente e contribuir positivamente para a vida da comunidade local.

12.3.3 Objectivos e princípios

Uma gestão baseada no EHS deve estabelecer os objectivos e princípios concordantes com a sua política. A seguir resume-se os objectivos e princípios adoptados pelo Anglo American plc (http://www.copebras.com.br/politica_masso.pdf) que é uma empresa internacional, líder em mineração e recursos naturais

A visão da empresa deve ser obter retornos significativos para seus accionistas, actuando de forma responsável em relação ao ambiente e à sociedade e estar comprometidos com os princípios do desenvolvimento sustentável. Esta política trata dos desafios centrais de meio ambiente, segurança e saúde do trabalho dentro do contexto do mundo globalizado.

Para dar uma expressão prática esta visão significa medir o processo, nos seguintes objectivos:

a) Ambiente:

- Preservar os recursos ambientais;
- Prevenir ou minimizar os impactes adversos decorrentes das operações;

- Demonstrar activa responsabilidade para com a Terra e a biodiversidade;
- Promover o bom relacionamento e a capacitação das comunidades nas quais estão inseridos;
- Respeitar a cultura e a tradição das populações.
 - b) Segurança e saúde do trabalho
- Prevenir ou minimizar os acidentes e danos à saúde relativos ao trabalho de empregados e empreiteiros;
- Contribuir para a resolução de problemas prioritários de saúde na comunidade.

Esta política é revista regularmente para reflectir o compromisso, e a crescente compreensão dos princípios do desenvolvimento sustentável.

12.3.4. Princípios de gestão

Os princípios de gestão deverão ser compatíveis com a política ambiental, de saúde e segurança assumidas pela empresa. A seguir apresentam-se os princípios de gestão em compromisso com a protecção ambiental que são necessários encorajar activamente.

1. *Compromisso*: garantir que os executivos seniores e gerências, responsáveis por temas de segurança, saúde e ambiente sejam experientes. Dotar recursos financeiros e humanos adequados para assegurar que tais temas sejam tratados de maneira a reflectir as prioridades da empresa.

2. *Competência*: garantir a competência e responsabilidade em todos os níveis através da selecção, retenção, educação, treinamento e consciencialização para todos os aspectos de meio ambiente, segurança e saúde de trabalho.

3. *Avaliação dos riscos*: identificar, avaliar e priorizar os perigos e riscos associados a todas as actividades operacionais.

4. *Prevenção e controle*: prevenir, minimizar e/ou controlar os riscos prioritários através do planeamento, projecto, investimento e procedimentos de gestão e de operação. Preparar e testar periodicamente planos de resposta a emergências. Quando os acidentes ou os incidentes ocorrerem, tomar pronta acção correctiva, investigar as causas básicas e tomar acção que as corrija. Procurar activamente prevenir as recorrências e disseminar as experiências aprendidas.

5. *Desempenho*: estabelecer objectivos, metas e indicadores de desempenho apropriados para todas as operações. Atender, no mínimo, a todas as leis e regulamentos aplicáveis e onde apropriados, aplicar as melhores práticas internacionais.

6. *Avaliação*: monitorizar, analisar e confirmar a eficácia da gestão e do desempenho da operação em relação aos objectivos e metas da empresa ou divisões e aos requisitos legais aplicáveis. É essencial para este processo um sistema de auditorias apropriadas e a geração de relatórios de progresso.

7. *Relação com as partes interessadas*: promover e manter um diálogo aberto e construtivo além de um bom relacionamento profissional com os empregados,

comunidades locais, agências regulamentadoras, instituições empresariais e outras partes interessadas e afectadas, para expandir conhecimento e proporcionar uma mútua compreensão das questões de interesse comum. Reportar o progresso direccionado às realizações dos objectivos.

8. *Melhoria contínua*: cultivar a criatividade e a inovação na administração e desempenho das operações e a proximidade para resolver desafios que o empreendimento enfrenta. Apoiar a pesquisa e o desenvolvimento em questões de ambiente, segurança e saúde de trabalho, e promover a implantação das melhorias práticas e tecnologias onde apropriadas.

É notório que os objectivos e princípios de gestão indicados têm muito que ver com o sistema de gestão ambiental ISO 14001, com a particularidade de incluir a parte de segurança e saúde.

12.3.5. Implementação do EHSMS

Para implementar a política do EHS é necessário satisfazer requisitos mínimos de maneira que seja possível obter resultados eficientes os objectivos e metas estabelecidas no EHSMS. Por exemplo o Grupo Rio Tinto (<http://www.riotinto.com.br/pubc02.htm>) estabelece os seguintes requisitos mínimos:

- Assegurar que as questões de EHS sejam parte integrante das estratégias de longo prazo;
- Estabelecer programas e procedimentos para assegurar a implementação adequada e consistente de suas políticas de EHS;
- Avaliar antecipadamente as implicações potenciais sobre a EHS das actividades de exploração, desenvolvimento, expansão, aquisição, vendas e fechamento e implementar acções para minimizar impactes sociais e ambientais adversos;
- Providenciar para que os custos das actividades de EHS relacionadas com a operação, reabilitação e fechamento estejam incluídos na preparação de propostas de investimento, planos anuais, e prestação de contas; assegurar a utilização eficiente de energia, água e outros materiais e colocar em prática programas de prevenção de poluição; realizar auditorias regulares para avaliar o cumprimento das leis e das políticas de EHS da empresa;
- Avaliar os riscos à EHS associados às suas actividades e produtos e tomar as providências adequadas para minimizar os riscos potenciais; preparar, testar e manter procedimentos de emergência em cooperação com as autoridades locais de atendimento a emergências;
- Preparar e manter um plano para o eventual fechamento de cada operação, incluindo: gestão de impactes sociais e ambientais, estimativas de custos do fechamento e provisão financeira, e consulta e cooperação com as comunidades locais;
- Assegurar que todos na empresa estejam conscientes das questões relativas a EHS e que as incorporem nas suas actividades diárias;

- Fomentar a consulta, particularmente com empregados e comunidades locais, ouvir e responder às preocupações apresentadas, e contribuir para programas de educação pública sobre assuntos relativos a EHS;
- Exigir que todos os contratados implementem práticas que estejam consistentes com a política de EHS da empresa;
- Pesquisar processos, práticas e tecnologias que melhorem o desempenho em EHS;
- Reportar regularmente ao Conselho de Administração da empresa, sobre a evolução do desempenho de EHS e demais assuntos significativos relacionados com a política de EHS.

12.3.6. Capacitação e/ou treinamento do pessoal em temas de segurança

Em relação ao treinamento do pessoal em segurança, Ramani, R.V., (1992) indica que o recurso humano é o investimento mais precioso feito numa mina. O pessoal necessário para o trabalho não é apenas o que é fisicamente apto mas é obtido pela selecção meticulosa e pelo treinamento e orientação adequada do trabalho.

A regulamentação Norte Americana, contempla para pessoal novo de minas subterrâneas um treinamento mínimo de 40 horas, das quais 32 em aulas e 8 no local de trabalho. Adicionalmente toda o pessoal precisa um refrescamento num total anual de 8 horas. Os temas nos quais devem ser capacitados e treinados estão na Tabela 12.20.

Tabela 12.20 – Temas do programa de treinamento e capacitação em saúde e segurança em minas subterrâneas (Ramani, R.V., 1992)

Temas	Pessoal novo	Pessoal experiente	Treinamento anual
Normas e responsabilidades dos supervisores	TP	TP	
Dispositivos de resgate e respiração	TP		TP
Introdução ao ambiente de trabalho	TP	TP	
Saúde de trabalho	TP	TP	
Identificação de perigos	TP	TP	
Perigos da electricidade	TP		TP
Primeiros socorros	TP		TP
Aspectos de saúde e segurança, tarefas atribuídas	TP		
Padrões de saúde e segurança		TP	TP
Prevenção de acidentes			TP
Explosivos	TP		TP
Entrada e saída de mina, transporte e comunicação	TP		TP
Mapa da mina, lugares de saídas, evacuação em emergências	TP	TP	TP
Plano de ventilação e controle de desprendimento de rochas	TP	TP	
Poeiras e gases	TP		TP
Água subterrânea	TP		TP
TP: para todo o pessoal			

Para fins de treinamento e capacitação podem ser utilizados vídeos, programas de instrução, simulação de emergências em minas, inspecção ao início de turnos de trabalho, estudo de livros relacionados com a saúde e segurança, manuais de segurança, etc.

A fig. 12.11 ilustra a estrutura, ferramentas e técnicas do sistema de segurança e controle de perdas na interacção entre materiais, equipamentos e acções do homem no ambiente de trabalho subterrâneo.

12.3.7. Programa de saúde profissional

O EHSMS deve considerar um programa relacionado com os problemas da saúde profissional, acidentes e ferimentos do pessoal de mina. Este programa deve incluir um exame médico antes do ingresso e uma contínua monitorização durante o tempo de exercício do trabalho, para garantir boas condições de saúde e condições físicas.

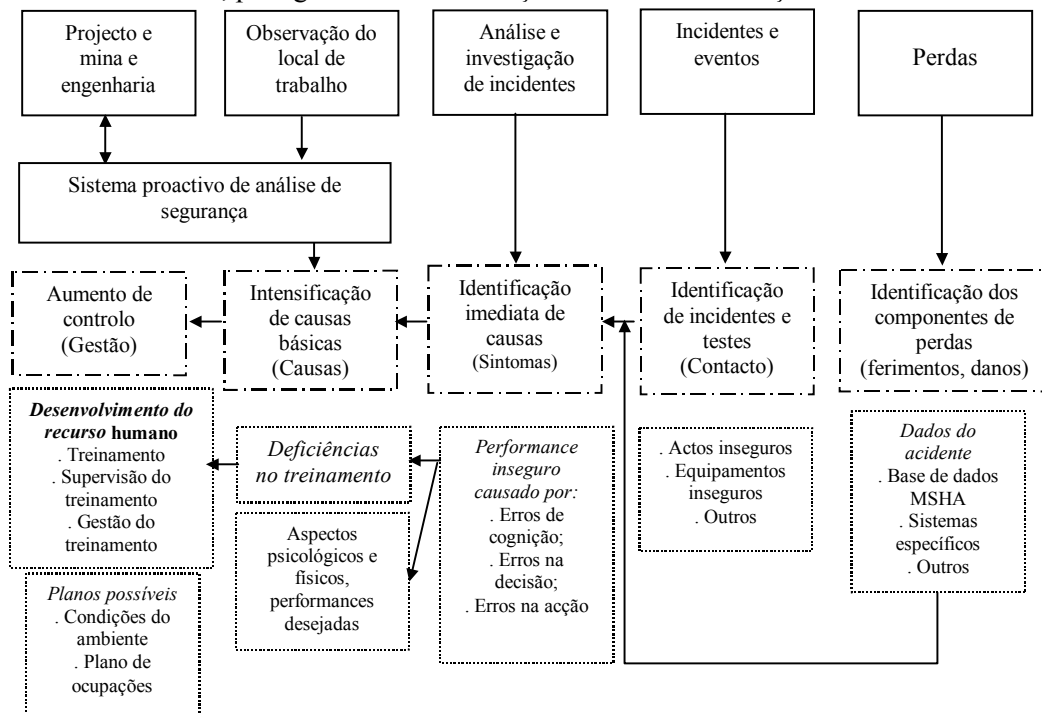


Figura 12.11 – Esquema para a avaliação e desenvolvimento dum treinamento efectivo e designação estratégica de postos de trabalho (Ramani, R.V., 1992)

Os exames ou monitorizações médicas poderão revelar problemas da condição física, perda de audição, perda de visão, problemas de coração, artrite, doenças pulmonares, etc. Como é óbvio estes exames e monitorizações podem permitir dotar de pessoal adequado, prevenir ou realizar um tratamento médico do problema de saúde profissional identificado.

Portanto, o programa de monitorização da saúde profissional tem como objectivos fundamentais:

- Protecção da saúde individual do pessoal;
- Monitorizar antes e depois da admissão do pessoal;
- Identificação da incidência das questões ocupacionais na saúde do pessoal;
- Tomar medidas correctivas que podem incluir protecção, tratamento, responsabilização de funções adequadas, etc.

Todo o procedimento previsto e executado no programa de saúde ocupacional deve estar documentado.

12.3.8. Planificação do EHSMS

A planificação do sistema de gestão do ambiente, saúde e segurança (fig. 12.12) compreende a avaliação de riscos, programa de operação e determinação de metas e objectivos.

12.3.9. Implementação de operações, monitorização e medidas correctivas

A implementação de operações, monitorização e medidas correctivas são partes do sistema integrado EHSMS que podem ser realizados com base no item 4.2.6, 4.2.7 e 4.2.8 desenvolvido no tema de Sistema de Gestão Ambiental EMS, incluindo os aspectos de gestão de Saúde e Segurança ocupacionais OHSMS.

12.3.10. O departamento do EHS na organização empresarial mineira

O departamento de EHS deve estar inserido na estrutura da empresa de forma que tenha a importância necessária igual a outros departamentos e permita uma eficiente gestão, a todos os níveis.

O organograma da empresa pode variar quer na estrutura quer nos elementos que são de apoio à presidência ou direcção geral, a gerência de linha e os empregados (fig. 12.13).

A responsabilidade ambiental, de saúde e segurança ocupacional deve ser distribuída desde níveis superiores até os empregados, o que permitirá proporcionar uma retroalimentação regular aos directivos e empregados com relação ao cumprimento do EHSMS pela empresa.

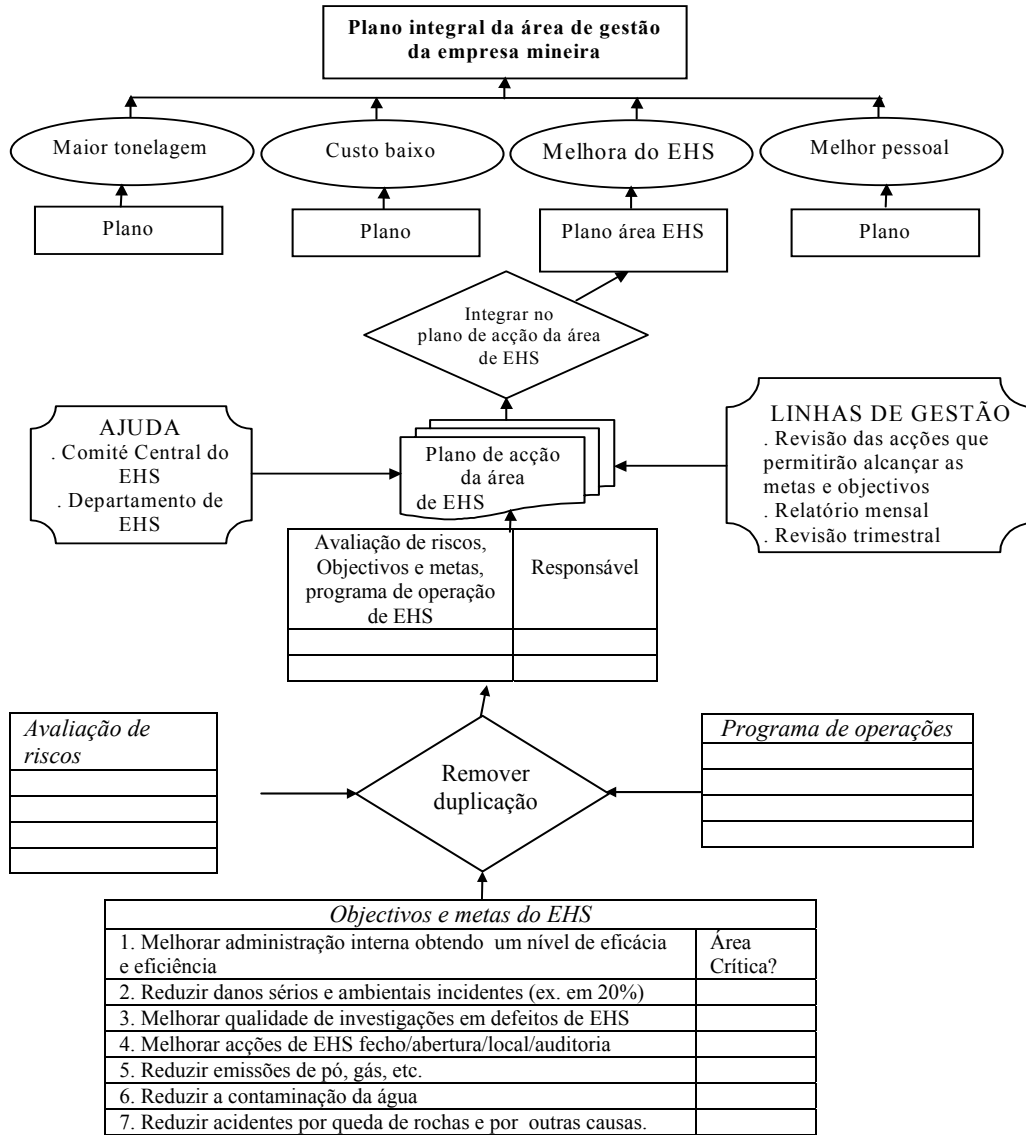


Figura 12.12 – Processo de planeamento do sistema de gestão EHS (baseado em Nobalco do Grupo Alcan, Grimond, D., 2002)

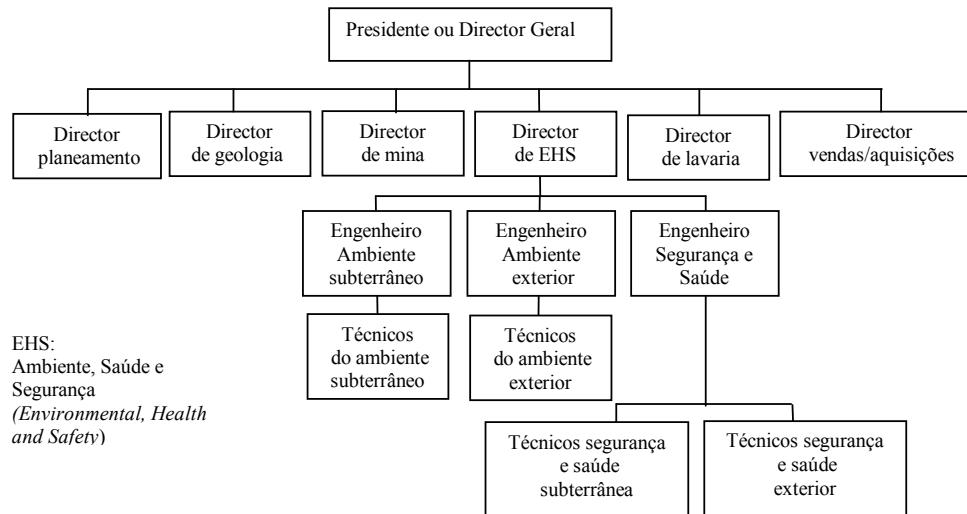


Figura 12.13 – Proposta dum modelo da estrutura orgânica numa empresa mineira que explora pelo método subterrâneo, com detalhe do departamento de EHS

QUINTA PARTE

CONSIDERAÇÕES FINAIS

ASPECTOS FINAIS

5.1. CONCLUSÕES

O desenvolvimento da engenharia ambiental subterrânea e os resultados obtidos na aplicação experimental em três minas em operação assim como a subsequente interpretação, permitem enunciar as seguintes conclusões:

A) Em termos gerais:

O ambiente subterrâneo, como o ambiente exterior, é um sistema dinâmico de interação mútua e integral dos quatro importantes domínios: atmosfera subterrânea, água subterrânea, rocha e o componente biológico (homem). Assim, o homem ao explorar o recurso mineral provoca o desequilíbrio ambiental que é manifesto nos impactos negativos atentatórios da sua própria saúde, da sua vida e da biodiversidade no seu âmbito de acção.

Face aos crescentes avanços da engenharia ambiental no sentido do desenvolvimento sustentável, o ambiente subterrâneo não pode ser uma excepção, porquanto a engenharia ambiental subterrânea desenvolvida mostra a aplicabilidade dos princípios, conceitos, processos e sistemas de gestão contemporâneos.

São válidos os modelos matemáticos, técnicas e sistemas de gestão desenvolvidos para avaliação do impacto ambiental relacionado com factores ambientais de: temperatura; gases tóxicos; poeiras; velocidade e caudal do ar; ruído; explosão e incêndio; iluminação e radiação; quantidade e qualidade das águas subterrâneas e a instabilidade e desprendimento de rochas.

A engenharia ambiental subterrânea é aplicável a explorações subterrâneas em operação e para projectos novos.

Para a gestão do ambiente subterrâneo são aplicáveis os sistemas de gestão ambiental (EMS) ISO 14001, o sistema de gestão integrado de ambiente, saúde, segurança (EHS) e ainda o sistema integrado de ambiente, saúde, segurança e comunidade (EHSC).

A sequência de acções a realizar na avaliação do impacto ambiental subterrâneo é: identificação e caracterização de fontes produtoras de impacto ambiental, identificação do nível de impacto ou risco ambiental, procura de alternativas de prevenção e correcção, aplicação da melhor alternativa, monitorização e controlo.

Para todos os factores ambientais, existe alguma divergência de padrões adoptados por cada país ou região.

B) Em termos específicos:

B.1 – No domínio ambiental atmosfera subterrânea:

- A influência da temperatura do ambiente exterior no ambiente subterrâneo é irrelevante em áreas onde a temperatura média mensal atinge valores até 6 °C (Andes de Peru e zonas similares), mas para temperaturas mais elevadas (Europa e zonas

- similares) existe influência considerável (5 °C a 6 °C para profundidades de 700 a 800 m);
- O risco ambiental térmico apresenta-se em minas tipificadas profundas, ou seja em profundidades onde a transferência de calor do maciço rochoso ao ar da atmosfera subterrânea supera 25 °C;
 - Em aberturas subterrâneas sem presença de água termal, o maior contaminante térmico é o que provém da transferência do calor da rocha virgem à atmosfera subterrânea (85% a 90%), seguido por equipamentos diesel (6% a 8%) e finalmente detonação de explosivo (4% a 7%). Portanto, o parâmetro mais importante é a propriedade térmica do maciço rochoso;
 - A técnica de ventilação permite obter uma temperatura de conforto no ambiente subterrâneo quando a temperatura do ar na entrada dum trecho é ≤ 27 °C. Quando estas temperaturas superam este valor torna-se impossível a aplicação desta técnica sendo necessário usar refrigeração;
 - Em frentes de trabalho com temperaturas próximo do limite indicado no ponto anterior, os caudais de conforto térmico mínimo são de 9 m³/s e máximo de 36 m³/s;
 - O volume de ar requerido no ambiente subterrâneo, para a produção de uma tonelada de minério, mostra uma variação de 11124 m³/t (Neves Corvo, 6500 t/dia), 8129 m³/t (San Rafael, 2500 t/dia), 4908 m³/t (Panasqueira, 2000 t/dia);
 - Em condições extremas o caudal mínimo requerido para o homem representa apenas um 4.5% do requerido pela utilização de equipamentos diesel. Portanto a importância de considerar o caudal mínimo de ar para os homens é apenas fundamental quando não há presença de equipamentos com motor diesel;
 - Impacto ambiental negativo moderado a alto (gases e poeiras) na atmosfera subterrânea acontece com velocidades típicas de 0.5 m/s a 1 m/s e caudal de 7 m³/s a 16 m³/s;
 - Actualmente, pela constante tendência de mecanização das operações mineiras de exploração, a principal fonte de poluição do ar, mediante gases tóxicos nocivos à saúde humana (CO, CO₂, NO, NO₂, SO₂, hidrocarbonetos, fuligem), constituem os equipamentos movidos com motor diesel;
 - Os gases produto das detonações de cargas explosivas constituem uma fonte de poluição adicional cuja presença no ar acontece principalmente no processo e nos locais de remoção do material desmontado;
 - As concentrações típicas de gases caracterizadas são: CO de 0.0 a 500 ppm, CO₂ de 0.0 a 3000 ppm, NO de 0.0 a 6 ppm, NO₂ de 0.0 a 12 ppm e O₂ de 19.2 a 20.9 %, apresentando nível de impacto ambiental moderado a alto em muitos locais;
 - A mecanização na operação de perfuração minimiza a contaminação do ar pelas partículas sólidas, constituindo fonte principal de empoeiramento do ambiente as operações de movimentação do material desmontado (remoção, transporte, britagem);
 - A sílica livre suspensa no ar é função da maior ou menor ocorrência de quartzo no jazigo e nas rochas encaixantes;

- A concentração típica de poeira varia de 0 a 5 mg/m³, com sílica livre de 0 a 13.4 % (Neves Corvo) e de 0 a 100% (Panasqueira), ocasionando impacte ambiental moderado a alto;
- A velocidade mínima (crítica) de ar que permite obter uma boa qualidade do ar está entre 0.5 a 0.8 m/s;
- O custo de redução das emissões de motor diesel é de 8 – 12 €/HP para a técnica de oxidação catalítica, 30 – 50 €/HP para sistema de filtros e de 50 €/HP para redução catalítica selectiva;
- Os custos da conservação da boa qualidade ambiental do ar na atmosfera subterrânea variam em função da grandeza da produção, da profundidade da operação, do nível de mecanização, da presença de água termal e das condições hidrogeológicas. Os custos de operação para as minas estudadas variam de 0.0000190 €/m³ de ar (Panasqueira), 0.0000766 €/m³ (Neves Corvo) e 0.0002612 €/m³ (San Rafael);
- As operações e equipamento usado em trabalhos subterrâneos, geram nível sonoro contínuo equivalente na fonte que varia de 89 dB (A) até 120 dB (A), com impacte ambiental acústico que atinge distâncias de 5.0 m a 35 m circundante à fonte;
- As medidas correctivas do impacto ambiental sonoro mais recomendáveis são as de protecção colectiva, de organização do trabalho, de protecção individual e de capacitação.

B.2 – No domínio ambiental água subterrânea:

- O caudal e qualidade da água (água ácida de mina) constituem parâmetros fundamentais para a avaliação do risco ou impacto ambiental devido à alteração das águas subterrâneas;
- O caudal é função das condições morfológicas e hidrogeológicas do âmbito de acção da exploração subterrânea. As medições de 810 l/s na mina de Panasqueira frente a 72 l/s em Neves Corvo; são o reflexo do exposto.
- A qualidade da água é função da litologia, tipo de jazigo, mineralogia do meio rochoso, as dimensões de superfície do maciço exposto e do caudal de ar que escoam nas aberturas. A qualidade típica da água subterrânea numa mina em operação (Panasqueira) é: pH 3.5 a 7, Cu de 0.02 a 3.16 ppm, Zn de 0.15 a 21.8 ppm, Fe de 0.16 a 23.20 ppm, Mn de 0.05 a 30.40 ppm e As de 0.0 a 0.10 ppm;
- A descarga da água ácida de mina em água natural superficial provoca impacte ambiental de moderado a alto. Esta alteração característica é a da ribeira de Bodelhão (Panasqueira), com melhor qualidade a montante (pH de 5.2, Cu 0.1 ppm, Zn 0.8 ppm, Fe 0.08 ppm, Mn 0.5 ppm e As 0.0 ppm) e com forte alteração a jusante (pH 4.2, Cu 3.1 ppm, Zn 16.0 ppm, Fe 3.0 ppm, Mn 8.2 ppm e As 0.03 ppm);
- A medida preventiva e correctiva para o caudal é bombagem e para águas ácidas de mina a medida técnica e economicamente viável é o sistema wetland;
- Os custos ambientais devido ao controlo do caudal podem variar de 3800 €/ano (35HP) até 18900 €/ano (200 HP).

B.3 – No domínio ambiental rocha:

- Os parâmetros geoambientais que podem caracterizar o maciço rochoso são: o índice RMR (*Rock Mass Ratio*), o índice Q (*Tunneling Quality Index*), tensões nas três direcções (σ_1, σ_2 e σ_3), resistência à compressão e à tracção, módulo de deformação (E_m), velocidade de propagação das ondas P (V_p) e a densidade (ρ);
- Os indicadores do risco ou impacto ambiental geotécnico, podem ser a dimensão equivalente (D_e) em função do índice Q, deformação (δ), variação da tensão ($\Delta\sigma$), relação entre tensão e a resistência ($\Delta\sigma/ECU$), factor de segurança (FS), velocidade vibratória crítica (v_c);
- Não existem normas ou padrões universais, pelo que se precisa determinar padrões para cada projecto;
- As medidas de prevenção e correcção consistem na monitorização e controle permanente, sistemas de injeccção e tratamento de solos e sistemas de suporte.

5.2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCOA, (1999), “*Alcoa Environment Health & Safety Annual Report*”, Pittsburgh US.
- ALVAREZ, J., (2001). “*Comportamiento estructural y mineralización de estaño – cobre, Mina San Rafael, Puno – Peru*”, XXV Convención de Ingenieros de Minas del Peru.
- AMANN, MARKUS, ET AL., (2000), “*Cost-effective Control of Acidification and Ground-level Ozone*”, Eighth Interim Report (Part 2) to the European Commission.
- ANON, (1974). “*Dust Control*”, Stanhope Bretby: NCB Mining Research and Development Establishment.
- ARENAS, M., (1999), “*Exploración y Geología de la Mina San Rafael, Puno*”. Revista Minería n.º 250 – XLVII, Maio 1999. Peru.
- ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF COST ENGINEERING INTERNATIONAL, AACE, (1990), “*Standard 10S-90. Standard Cost Engineering Terminology*, US.
- AUSTIN, B.A., (1982), “*Illumination in Mines*”, 36, Environmental Engineering in South African.
- BANERJEE, S.C., (2000), “*Prevention and Combating Mine Fires*”, A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- BELL, L.H., et al., (1994), “*Industrial Noise Control. Fundamentals and Applications*”, Marcel Dekker, Inc. US.
- BARETTINO FRAILE, D., (1992), “*Identificación y evaluación del I.A. sobre la Gea*”, ITGE, Gráficas Monterreina S.A. Madrid, Espanha.
- BARNES D. ET AL, (1986), “*Water and Wastewater Engineering Systems*”, Longman Scientific and Technical. London.

- BARTON, N., (1971), “*A relationship between joint roughness and joints shear strength*”, Proc. Sym. ISRM. Rock Fracture – Nancy.
- BARTON, N., LOSET, F., LIEN, R., AND LUNDE J., (1980), “*Application on Q-System in Design Decisions Concerning Dimensions and Appropriate Support for Underground Installations*”. International Conference on Sub-surface Space. Rockstore, Stokgolm. Sub-surface Space, vol.2. Pergamon.
- BARTON, N., LIEN, R. AND LUNDE J., (1980) “*Estimation of support requirements for underground excavations*”, 16th Symposium on Design methods in Rock Mechanics. Minnesota.
- BRANDIS, S., LUMSDEN, A.C. AND BARTON, N., (1981) “*Experimental studies of scale effects on the shear behavior of rock joints*”, Int. Jour. Rock.Mech, Min.Sci. No.18.
- BARTON, N., AND CHOUBEY, V., (1977), “*The shear strength of rock joints in theory and practice*”. 23rd U.S. Sym. Rock Mech. Berkeley.
- BARATON, N., AND BAKHTAK, (1984), “*Large scale static and dynamic friction experiments*”, Int. Jour. Rock. Mech, Min. Sci. No.20.
- BARTON, N., (1995), “*The influence of Joint Properties in Modeling Rock Masses*”, Proc. 8th Int.Cong. On Rock mech. Tokyo. Ed. BALKEMA (1997). Vol3.
- BARTON, N., Y GRIMSTAD, E., (2000), “*El sistema Q para la selección del sostenimiento en el método Noruego de excavaciones de túneles*”, Capitulo 1, Ingeo Túneles Libro 3, Madrid.
- BAUMGARTNER, A. AND REICHEL, E. (1975), “*The World Water Balance*“, Elsevier Science Publishers, Amsterdam and New York.
- BERNARDO, P. A. M. (1995), “*Dimensionamento e Simulação de Redes de Ventilação Mineira*”, Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Mineralogia e Planeamento Mineiro, IST Lisboa.
- BERNARDO, P. A. M., (1999), “*Registo de medições da concentração de gases com EXOTOX 60 na mina da Panasqueira*”, folha de registo de medições realizadas.Lisboa.
- BIENIAWSKI, Z.T., (1978), “*Determining Rock Mass Deformability*”, Experience from histories. Int. Jour. Rock. Mech. Min. Sci. No.15.
- BIENIAWSKI, Z.T., (1989), “*Engineering Rock Mass Classifications*”, John Wiley, New York.
- BIENIAWSKI, Z.T., (1992), “*Ground Control*”, Chapter 10.5 SME Mining Engineering handbook, 2nd Edition V 1, Hartman H.L. Editor, US.
- BILSOM (2003), “*Suppliers of Safety and Perssonel Protection Equipment for All Industries*“, Stratfords Ltd Safety Catalogue, <http://www.stratfords.com>.
- BRODIE, M.J., BROUGHTON, L.M. AND ROBERTSON, A.M., (1991), “*A Conceptual Rock Classification System for Waste Management and a Laboratory Method for ARD Prediction From Rock Piles*”. In Second International Conference on the Abatement of Acidic Drainage. Conference Proceedings, Montreal, Canada.

- BROW WEIS, E., (1989), "In Fairness to Future Generations: International law, common patrimony and intergovernmental equity", University of California, San Francisco 94143-0448.
- BRUEL & KJAER, (1994), "*Manual de Utilização do Sonómetro Integrador de Precisão Modelo 2236*", Versão Internacional.
- CALIZAYA, F., AND MULYADI, A., (1999). "*New P.T. Freeport Mine ventilation system – basic requirements (25 kt/day plan)*", Technical Papers. Mining Engineering, US.
- CALIZAYA, F., AND KETUT KARMAWAN, K., (2002), "*P.T. Freeport DOZ Mine Ventilation System*", Tembagapura, Indonesia, Mine Ventilation Services, Inc. Fresno, California, US.
- CARVALHO, P., (1986), "*Na introduction to the Neves – Corvo Copper Mine, Portugal*", Iberian Field Conference of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits, SGA, Lisboa.
- CASCIO, J., WOODSIDE G., and PHILIP, M., (1996), "*Guide ISO 14000*" McGraw Hill, Sidney Australia.
- CHOW VEN TE, D.R., AND MAYS L., (1988), "*Applied Hydrology*", McGraw – Hill, New York, US.
- CLARK, R.B., (1992), "*Marine Pollution*", 3rd ed. Clarendon Press, Oxford.
- COMMONWEALTH OF AUSTRALIA, (2002), "*Overview of Best Practice Environmental Management in Mining*", *Environment Australia ISBN 0 642 48797 9 of the series 0 642 19418 1*, Sydney, Australia.
- CONESA FERNÁNDEZ, V., (1997), "*Guia metodológica para la evaluación del impacto ambiental*", 3^a Edição, Ediciones Mundi Prensa. Madrid, Espanha.
- CONSELHO DA COMUNIDADE EUROPEIA, (2003), "*Decisão 2002/358/CE do Conselho, de 25 de Abril de 2002, sobre Mudança do Clima*", União Europeia.
- CONSULTANTS, ECOLOGY AND ENVIRONMENT, INC., UNITED STATES, (2001), "*Acid Rain Control and Environmental Improvement Project in the people's Republic of china*", Initial Environmental Examination IEE in Anhi Province.
- CONTI, R. S., AND C. D. LITTON, C. D., (1995), "*A Comparison of Mine Fire Sensors*". US Bureau of Mines. Report Investigation 9572.
- COOK, A. P., AND VAN DER MERWE, J. N., (2000), "*Design, Construction and Testing of Underground Seals*", Final project Report, Safety in Mines Research Advisory Committee SIMRAC, Shout Africa.
- COOK ADRIAN, (2001), "*OHSMS in British Columbia OHSMS in British Columbia a WCB Perspective a WCB Perspective*", CEAA Conference Vancouver B.C., Canada.
- CORDNER, J. P., (1980), "*Costs and benefits of environmental protection*", National Conference, Melbourne, Australia.

- COUPERS, D., LOBATO, J., E PINTO, R. J., (1998), “*A aplicação do método de bench and fill aos minérios fissurais do jazigo de Neves Norte*”, IV Simpósio Internacional de Sulfuretos Poli Metálicos da Faixa Piritosa Ibérica, Lisboa.
- CREEDY, D.P., (1996), “*Methane prediction in collieries*” Safety In Mine Research Advisory Committee – SIMRAC, Final Project Report.
- CREEDY, D.P., AND ARMSTRONG, W., (1996), “*Methane Prediction in Collieries*”, Final project Report, Safety in Mines Research Advisory Committee SIMRAC, Shout Africa
- C&T BRASIL, (2003), “*Protocolo de Quioto à Convenção sobre Mudança do Clima*”, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasil.
- DALY, D., (1994), “*Lecture Series on Groundwater*”, Civil and Environmental Engineering Department, University College Cork.
- DAVIS, M.L. AND CORNWELL, D.D., (1991), “*Introduction to Environmental Engineering*”, McGraw – Hill, New York, US.
- DAVIS, PATIE, (1998), “*Implementing an Environmental Management System in Community –Based Organization*”, EPA US /NSF International, Michigan, US.
- Decreto-lei n.º 162/90 do 22 de Maio de 1990, “*Regulamento Geral de Segurança e Higiene no Trabalho nas Minas e Pedreiras*”, de Portugal.
- Decreto-lei n.º 251/87 de 24 de Junho. “*Regulamento Geral sobre o Ruído*”, Portugal.
- Decreto-lei n.º 292/89 de 2 de Setembro, Lei do ruído em Portugal.
- Decreto-lei n.º 292/89 de 2 de Setembro. Alteração dos artigos 4.º, 20.º, 21.º, 22.º, 23.º, 35.º, 36.º e 37.º do Decreto-lei n.º 251/87. Diário da República I Série N.º 202 – 2-9-1989, Portugal.
- Decreto Regulamentar n.º 09/92 do 28 de Abril, Regulamentação sobre ruído, Portugal.
- Decreto-lei n.º 236/98 – 1 Agosto, Lei de águas, Portugal.
- Decreto-lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro. “*Regulamento Geral do Ruído*”, Portugal.
- Decreto-lei n.º 270/2001 de 6 de Outubro de 2001, Exploração de massas minerais – pedreiras, Portugal.
- Decreto Ley Nro. 708 – 709 del 6 de noviembre de 1991 y Decreto supremo Nro. 023-92-EM, “*Reglamento de Seguridad e Higiene Minera*”, Peru.
- Decreto Supremo No 014-92-EM de 4 de julio de 1992, Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, Peru.
- Decreto Ley No. 613-90-PE de 7 de setiembre de 1990, Código del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Peru.
- Decreto Ley No. 26786 del 12 de mayo de 1997, Ley de Evaluación de Impacto Ambiental para Obras y Actividades, Peru.
- Decreto Supremo No. 016-93-EM del 28 de abril de 1993, Reglamento para la protección Ambiental en la actividad minero – metalúrgica, Peru.

Decreto Supremo No 023-92-EM de 9 de octubre de 1992, Reglamento de Seguridad e Higiene Minera, etc., Peru.

DEERE, D.U., (1964), “*Technical Description of Rock Cores for Engineer-purposes*”, Rock Mechanics and Engineering Geology. Volume 1.

DEPARTMENT OF THE INTERIOR - OFFICE OF SURFACE MINING US, (2003), “Acid Mine Drainage treatment techniques and costs”, US.

DEUTZ CORPORATION, TUV Zertifikat, December, (1997), <http://www.deutzusa.com/Technical/>.

DIAMOND CRAIN, P., (1996), “*Environmental Management System – Demonstration Project*”, NSF International, Michigan, US.

DINIS DA GAMA, CARLOS (2000), “*Geotecnia Ambiental – Perspectivas e Aplicações*”, Revista Geotecnia n.º 90, Lisboa, Portugal.

DINIS DA GAMA, C., (1998), “*Evaluación de los daños al macizo rocoso provocados por las voladuras en túneles*”. IngeoTUNELES.Vol. 2, pp. 231-249, Madrid.

DINIS DA GAMA, C., (1998), “*Acompanhamento Geomecânico da mina da Panasqueira*”, Abril Maio 98, Hidromineira, Lisboa.

DINIS DA GAMA, C. AND XIANBIN, YU., (1999), “*Geomechanics investigations in a multiple room and pillar mine*”, ISRM International Congress on Rock Mechanics Paris.

DINIS DA GAMA, C., E MARQUES BERNARDO, P., (2001), “*Condições técnicas para uso de explosivos na escavação de túneis urbanos em maciços rochosos*”, Curso sobre Túneis em Meios urbanos, Coimbra Portugal.

DINIS DA GAMA, C., AND NAVARRO TORRES, V.F., (2002), “*Prediction of EDZ (Excavation Damaged Zone) from Explosive Detonation in Underground Openings*” ISRM International Symposium on Rock Engineering for Mountainous Regions, EUROCK 2002.

DRYSDALE, D., (1985), “*An Introduction to Fire Dynamic*”, John Wiley&Sons, New York, US.

DU PLESSIS, J.J.L., AND BRYDEN, D.J., (1997), “*Systems to Limit Coal Dust and Methane Explosions in Coal Mine*”, Final project Report, Safety in Mines Research Advisory Committee SIMRAC, Shout Africa.

DUNCAN, D. AND C. WALDEN, (1975), “*Prediction of Acid Generation Potential*”. Report to Water Pollution Control Directorate, Environmental Protection Service, Environment Canada.

PERSSON P.A., HOLMBERG R. AND LEE J., (1993). “*Rock Blasting and Explosives Engineering*”. CRC Press, Inc, FL, US.

EDGAR, T.F., (1983), “*Coal Processing and Pollution Control*”. Houston: Gulf Publishing, US.

EPA (1993). “*Pautas y Especificaciones para preparar Planes del proyecto de garantía de Calidad*”. QUAM-005/80. Washington D.C. US.

EPA, (1994), “*U.S. EPA 530-R-94-036, Acid mine drainage prediction: U.S.*”

- EPA Office of Solid Waste Branch (1994). *“Acid mine Drainage Prediction”*. Washington D.C. US.
- EPA 420-F-00-057, (December 2000), "Heavy-Duty Engine and Vehicle Standards and Highway Diesel Fuel Sulfur Control Requirements", US.
- EPA, (December, 1994). EPA530-R-94-036. *“Acid Mine Drainage Prediction”*, Agriculture & Natural Resources Development de West Virginia University (2001). Acid Mine Drainage Treatment Costs with Calcium Oxide and the Aquafix Machine.
- EPA,540-R-00-002 -OSWER 9355.0-75, 2000, “A Guide to Developing and Documenting Cost Estimates During the Feasibility Study”, US.
- EPA, (1996), *“The Role of Cost in the Superfund Remedy Selection Process”*. US.
- EPA, Technical Support Document for the Heavy-Duty Engine and Vehicle Standards and Highway Diesel Fuel Sulfur Control Requirements: Air Quality Modeling Analyses, EPA420-R-00-028, Washington, DC, December 2000, p. V-34.
- EPA, (2003), *“Remedial Investigation/ Feasibility Study and Selection of Remedy”*, Subpart E - Hazardous Substance Response, Section 300.430.
- ESI international, (1999), *“Diesel emission control strategies available to the underground mining industry”*, Washington, US.
- FALCH, E. et al., (1998), *“Guía ambiental para el manejo de problemas de ruido en la industria minera”*, Ministerio de Energía y Minas, Peru.
- FAULKNER, B.B., AND J.G. SKOUSEN, (1994), *“Treatment of acid mine drainage by passive treatment systems”*. p. 250-257. In: International Land Reclamation and Mine Drainage Conference, U.S. Bureau of Mines SP 06A-94, April 24-29, Pittsburgh, PA.
- FERGUSON, K. D., AND MORIN, K.A., (1991), *“The Prediction of Acid Rock Drainage - Lessons From the Database”*. In Second International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, Conference Proceedings, Montreal, Canada.
- FERNÁNDEZ RUBIO, R., et al., (1988). *“Mining-Hydrological characteristics of the Underground Copper Mine of Neves-Corvo, Portugal”*. Third International Mine Water Congress. Melbourne, Australia.
- GARSHICK, E., (2003). *“Diesel Exhaust: Health Effects and Research Needs”*. Harvard Medical School, Boston MA, US.
- FIDALGO DE MATOS, M.C., (2002). *“Ambiente mineiro: tecnologias de diagnóstico, prevenção e tratamento passivo das águas ácidas contaminadas por minerais sulfurados”*, Tese de doutoramento, IST Lisboa.
- GAYUBAS, J.C.S. (1998). *“Guía práctica para el Control del Ruido Ambiental en Canteras y Graveras”*. López Jimeno C. Editor, Entrono Gráfico, S.L. Madrid España.
- GIARDINO, D.A., (1999), *“Estimating the Rate of Coal Combustion in a Mine Fire”* U.S. Department of Labor - Mine Safety and Health Administration MSHA.
- GÓMEZ OREA, D., (1988), *“Evaluación del impacto ambiental de proyectos agrarios”*. Madrid, Espanha.
- GOUVEIA, Nelson, (1976), *“Contabilidade básica”*, São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.

- GRIMONND, DOUG, (2002), “*Safety, Health, Environment and Community Report*”, Nabalco – Alcan Group Aluminium”, Northern Territory, Australia.
- GUILLEN, L.(1997). “*Reporte sobre la mina de San Rafael*”, Puno, Peru.
- JENKINS, G. P., HARBERGER, A. C., (1990), “*Manual: cost-benefit analysis of investment decisions*”, Program on Investment, University of Chicago, <http://www.econ.queensu.ca>.
- HANEY, R.A, ONDREY, R.S. *et al.*, (1994). “*Control of Diesel Particulates Emission in underground Coal Mine*”, Mine Safety and Health Administration MSHA, Pittsburgh, Pennsylvania, US.
- HANEY, R.A, SASEEN G.P. *et al.*, (1997). “*An Overview of Diesel Particulate Exposures and Control Technology in the U.S. Mining industry*”, Mine Safety and Health Administration MSHA, Pittsburgh, Pennsylvania, US.
- HANEY, R.A., SASEEN, G. P., (2000), “*Estimation of Diesel Particulate Concentration in Underground Mines*”. Mine Safety and Health Administration MSHA, Pittsburgh, Pennsylvania, US.
- HARRIS, J.D., (1987), “*Carbon Dioxide as an Index of Diesel Pollutants*”, Diesels in Underground Mines, Bureau of Mines Information Circular, US.
- HARTMAN, H.L. (1982). “*Heat in Mines*”, Chapter 20, Mine ventilation and air conditioning. 2nd. Ed. New York US.
- HARTMAN, H.L., (1982), “*Psychrometry, refrigeration, and heat transfer process*”, Chapter 21, Mine ventilation and air conditioning. 2nd. Ed. New York US.
- HARTMAN, H.L. AND MUTMANSKY, J.M., (1982). “*Flow of Air through Mine Openings and Ducts*”. Chapter 6, Mine Ventilation and Air Conditioning”, Second Edition. The University of Alabama, US.
- HEDIN, R.S., R.W. NAIRN, AND R.L.P. KLEINMANN, (1994), “*Passive treatment of coal mine drainage*”, U.S. Bureau of Mines Information Circular IC 9389, Pittsburgh, PA.
- HOEK, E., AND BROWN, E.T., (1982), “*Underground Excavations in Rock*”, Institution of Mining and Metallurgy, London.
- HOEK, E., (1995), “*Estimating the Strength and Deformability of very poor Quality Rock Masses*”, Rock Engineering, A.A. Balkema Publishers.
- HOEK, E., CARRANZA – TORRES, E., AND CORCUM, B., (2002), “*Hoek-Brown Failure Criterium – 2002 Edition*”. NARMS, Toronto.
- HOLDING, W., (1994), “*Review of Practices for the Prevention, Detection and Control of Underground Fires in coal Mines*”, Final project Report, Safety in Mines Research Advisory Committee SIMRAC, Shout Africa.
- HOLMAN, J.P., (1983). “*Transferência de calor*”, McGraw Hill, São Paulo.
- HOLMBERG, R., (1982), “*Charge calculation for tunneling*”, Underground Mining Methods Handbook. W. Hustrulid /Editor, AIME, New York, US.

- HOUGHTON, D.A., (1976), “*The role of Rock Quality Indices in the Assessment of Rock Masses*”, Proc. Symp. Exploration for Rock Engineering, Johannesburg.
- HOWES, M.J., (1982), “*Noise Control*”. Camborne School Mines, University of Exeter, UK.
- HUDSON, J.A. AND HARRISON, J.P., (1997), “*Engineering Rock Mechanics*”, University of London. Pergamon, Oxford.
- HUISINGH, DONALD AND VICKI BAILEY, VICKI, (1982), “*Invest in clean technology as a percentaje of total investment in pollution abatement*”, Making Pollution Pay, US.
- HYMAN, D.M., AND G.R. WATZLAF, (1995), “*Mine drainage characterization for the successful design and evaluation of passive treatment systems*”, In: Proceedings, Seventeenth Annual Conference of the National Association of Abandoned Mine Lands, French Lick, IN.
- IBARRA, J.A., *et al.*, (1996), “*Overbreak and Underbreak in Underground Openings Part 2: Causes and Implications*”, México.
- IBARRA, N.H., AND MAERZ N.H., (1996), “*Overbreak and Underbreak in Underground Openings, Part.2: causes and Implications*”, Mexico.
- IGM Instituto Geológico e Mineiro de Portugal, (1992), “*Levantamento de empoeiramento, ruído, condições térmicas e oxigénio na empresa Somincor – Mina de Neves Corvo*”, Relatório do Laboratório de DGGM.
- IGM Instituto Geológico e Mineiro de Portugal, (1996), “*Boletim de Análise de Sílica Livre com Difracção de Raios X*”, Laboratório de IGM.
- IGM Instituto Geológico e Mineiro de Portugal, (1998), “*Levantamentos de Empoeiramento, Ruídos, temperatura e Oxigénio na Mina da Panasqueira*”, Relatório do Laboratório de DGGM.
- INAG Instituto da Água – Ministério do Ambiente Portugal (2003), “*Registos da Estação Meteorológica 12L/03 de Covilhã do INAG – DHRH SNIR*”.
- INTERNATIONAL COUNCIL ON METAL AND THE ENVIRONMENT, (2002). “*Eco-Efficiency and Materials*” Ottawa Canada.
- INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC, (1996). “*Greenhouse Gas Inventory Reference*”. *Manual (Revised)*. v.3., Paris, France.
- INTERNATIONAL SOIL REFERENCE AND INFORMATION CENTER ISRIC, (2003), “*Global Assessment of Human-induced Soil Degradation GLASOD*”, Myrene. Arendal. N-4800. Norway.
- INTERNATIONAL STANDARD, ISO 1999-1990. “*Determination of occupational noise exposure and estimation of noise induced hearing impairment*”.
- INTERNATIONAL STANDARD, ISO 1996, “*Description and Measurement of Environmental Noise. Part 1 (ISO 1996-1), Part 2 (ISO 1996-2) and Part 3 (ISO 1996-3)*”.

IPCC/OECD/IEA (2002), “*Programmed on National Greenhouse Gas Inventories*”, Expert Group Meeting on Good Practice in Inventory Preparation: Energy, CH₄ Emissions Coal Mining and Handling, WMO, UNEP.

JOHNSON, A.I., (1967), “*Specific yield compilation of specific yields various materials*” USGS Water Supply. US.

KEPLER, D.A., AND E.C. MCCLEARY, (1997), “*Passive aluminium treatment successes*”, In: Proceedings, Eighteenth West Virginia Surface Mine Drainage Task Force Symposium, April 15-16, 1996, Morgantown, WV.

KIELY, GERARD, (1999), “*Ingeniería ambiental – Fundamentos, entornos, tecnología y sistemas de gestión*”, McGraw – Hill, Madrid, Espanha.

KIESSELL, F.N., (1992). “*Gas and Dust control*”. SME Mining engineering handbook, 2nd Edition V 1, Hartman H.L. Editor, USA.

KOGAS Korea Gas Corporation, (2000), “*Annual Report*”, South Korea.

KREIDER, JAN, F., (2001), “*Handbook of heating, ventilation, and air conditioning*”, USA.

KULHAWY AND GOODMAN, (1980), “*Design of Foundations on Discontinuous Rock*”, Proceedings of the International Conference on Structural Foundations on Rock, International Society for Rock Mechanics, Vol. I, pp. 209-220.

KULA, E., (1992), “*Economics of natural resources and the environment*”. Melbourne Australia.

LABORATÓRIO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS E GEORRECURSOS DO IST (2001), “*Resultados da análise química elementar por Espectrometria de Fluorescência de Raios X e mineralógica por Difrração de Raios X de amostras de pó da mina da Panasqueira*”, Lisboa.

LACY, W. C., (1992), “*Mineral Prospecting and Exploration*”, Section 4 SME Mining Engineering Handbook, 2nd Edition volume 1, Hartman H.L., Senior Editor.

LAMA, R.D. *et al.*, (1983). “*An improved method measurements of gas content of coal of seams: studies on the Collinsville coal mine*” CSIRO. Queensland, Australia.

LAPAKKO, K., (1993). “*Predictive Testing for Mine Waste Drainage Quality. In Mine Operation and Closure*” Short Course. Sponsored by EPA and others April 27 - 29, 1993. Helena, MT.

LAPRECHT, JAMES L., (1997), “*ISO 14000 Directrices para la Implementación de un Sistema de Gestión Medioambiental*”. AENOR, Madrid Espanha.

LAUBSCER, D.H., (1990), “*Geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design*”. Paper to Institution of Mining and Metallurgy, London.

LAWRENCE, R.W., HIGGS T. W., AND M. BRATTY M., (1999), “*Treatment of Acid Mine Waters and Industrial Effluents*”, Simons Ltd., Vancouver, Canada.

LLANQUE, O. E, NAVARRO TORRES, V.F. *et al.*, (1999). “*Explotación Subterrânea-conceptos y casos prácticos*”. IIMP Lima, Peru.

- LOBATO, J., (2000), “*Evaluation of Mining Induced Stress on Support Requirements at Neves Corvo*” Dissertation of Master of Science in the University of Exeter.
- LÓPEZ JIMENO, C., *et al.*, (1989), “Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería”. ITGE, Madrid, Espanha.
- LÓPEZ JIMENO, C. Editor, (1996). “*Ventilación de túneles*”. Capítulo 22, Manual de túneles y obras subterráneas. Madrid España.
- LÓPEZ JIMENO, C., (1997). “*Manual de Túneles y Obras Subterráneas*”, Entorno Gráfico S.L. Madrid, Espanha.
- MACLEAN RICHARD, SUGAR WILLIAM, (2000), “*EH&S Management Systems: Easy to Understand, Difficult to Successfully Implement*” Anheuser-Busch Companies, Inc., St. Louis, Missouri, US.
- MAGIL, P. L ET AL., (1956), “*Air Pollution Handbook*”. McGraw Hill, New York.
- MAJOR, G, (1978), “*Occupational hygiene standards and the interpretation of environmental measurements*”, Proceedings of the 2nd Australian pneumoconiosis conference, Sydney, Australia.
- MANUFACTURES OF EMISSION CONTROLS ASSOCIATION, MECA, (2000), “*MECA Independent Cost Survey for Emission Control Retrofit Technologies*”, Washington, DC 20036-5603, US.
- MARK, A. NEARING, (1998), “*Evaluating soil erosion models using measured plot data: accounting for variability in measurements*”, Agricultural research service, United States Department of Agriculture USDA.
- MARTINEZ, J.G. AND BAUER, S., (2001). “*Incorporation of environmental sustainability in cost-benefit analysis for development projects*”, Giessen.
- MAS Instrument Division, (1994), “*Sampling Pumps 484108 Instruction Manual* “ Pittsburgh US.
- MARTIN, RAYMOND, (1998), “*ISO 14001 Guidance Manual*” National Center for Environmental Decision-Making Research NCEDR, University of Tennessee.
- MCGINNESS, STEPHEN, (1999), “*Treatment of Acid Mine Drainage*”, Science and environment section house of commons library research paper, UK.
- MCPHERSON, M.J., (2001), “*Subsurface Fires and Explosions*”, Virginia Polytechnic Institute and State University, US.
- MEYER, C. F. AND VAN ZYL, F. J., (1999), “*Reduce Explosion Risks and Improve Safety and Health Conditions by Better Ventilation Practices in Mechanical Miner Headings*”, Final project Report, Safety in Mines Research Advisory Committee SIMRAC, Shout Africa.
- MITCHELL, PAUL, (2000). “*Prediction, Prevention, Control, and Treatment of Acid Rock Drainage*”. Environmental policy in mining, US.
- NAIQUE, R., (2001), “*Registo da temperatura no couro mineiro da Panasqueira*”, Barroca Grande, Portugal.

- MINA DE NEVES CORVO (Somincor), (2000), “Listagem Geral de Furos e Chaminés por Função”, Portugal.
- MEDINA, E., LIZANA, J., VILLAFRANCA, W., (2001), “*Minado mediante Subniveles ubicados cada 50 metros en la mina San Rafael – Puno*”. XXV Convención de Ingenieros de Minas del Peru.
- MINA DE NEVES CORVO (Somincor), (2000), “*Relatório de Ventilação Secundária*” Departamento de Ventilação de Minas, Portugal.
- MINA DE NEVES CORVO (Somincor), (2000), “*DTS – Departamento de Estudos Planeamento Mineiro Ventilação Secundária, dos anos 1998, 1999 e 2000*”, Portugal.
- MINA DE NEVES CORVO (Somincor), (2000), “*Stress Modeling of Neves North bench and Fill Area*”, Rock Mechanics Department, Neves Corvo Mine.
- MINE SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION, MSHA, (2001), Rules and Regulations U.S., Federal Register/Vol.66, No.13/Friday, January 19.
- MINE VENTILATION SERVICE INC., (1999). “*Ventilation Notes and Supplemental Information*”. Fresno US.
- MINE VENTILATION SERVICES, INC., (2000), “*VnetPC 2000 (Version 1.02) User’s Manual & Tutorial*”, Fresno, CA 93727 US.
- MURRAY AND LOPEZ, SMITH, (1998). “*Toward environmentally and socially sustainable development 1999*”, Environment Matters at the World Bank – Annual, Review.
- MUTMANSKY, J.M., *et al.*, (1992). “*Environmental health and safety*”. SME Mining engineering handbook, 2nd Edition V 1, Hartman H.L. Editor. USA.
- NAVARRO TORRES, V.F., (1999), “*Eplotación subterránea – Casos prácticos en minas del Peru*”, Curso em Machala, Equador.
- NAVARRO TORRES, V.F., (2001), “*Avaliação do impacte Ambiental Sonoro no Ambiente Subterrâneo da Mina da Panasqueira*”, Relatório Centro de Geotecnia IST, Lisboa.
- NIYOGI DEV, K., MCKNIGHT DIANE, M., WILLIAM M. LEWIS, M., WILLIAM, AND KIMBALL BRIANT, A., (1994) “*Experimental Diversion of Acid Mine Drainage and the Effects on a Headwater Stream*”, Colorado U.S.
- NORMA PORTUGUESA 1733, “*Grau de reacção humana ao ruído*”. Direcção Geral da Qualidade, Lisboa.
- NORMA PORTUGUESA NP-2074, (1983), “*Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosões ou solicitações similares*” Direcção – Geral da Qualidade (DGQ).
- NOVITSKY, A., (1962), “*Ventilación de minas, acondicionamiento del aire, incencios subterráneos y salvamento*”. Buenos Aires, Argentina.
- ONDREY, R. S., *et al.*, (2001), “*Summary of Minimum Dust Control Parameters*”, Mine Safety and Health Administration MSHA Pittsburgh Safety Health Technology Center, Pennsylvania, US.

- PALMA, V. (1981), “*The San Rafael in Cooper Lode System, Puno SE Peru*”, Master Thesis, Queen’s University, Canada.
- Portaria n.º 286/93 de 12 de Março, Lei sobre poluição do ar em Portugal.
- RAISWELL, R. W., ET AL., (1992), “*Environmental Chemistry*”, Edward Arnol, London.
- RAMANI, RAJÁ V., (1992), “*Mine Ventilation*”. Chapter 11.6. SME Mining Engineering Handbook, 2nd Edition Volume 1. Littleton, Colorado, US.
- RAMANI, RAJA V., (1992), “*Environmental Issues*” Chapter 11.0 , SME Mining Engineering Handbook, 2nd Edition Volume 1.
- REVALLE, P., et al., (1989), “*The environment – Issues and Choices Society*”, PWS Publisher S. Boston, Massachusetts, USA.
- REVISTA ÁGUA & AMBIENTE no. 20 – Ano 2 (2001), “*Especial sobre indústria extractiva*”, Portugal.
- RIBEIRO E SOUSA, L., (2001), “*A observação no controlo da sequência de obras subterrâneas em meios urbano*”, Curso sobre Túneis em Meios urbanos, Coimbra Portugal.
- RIPLEY EARLE A., et al., (1996). “*Environmental effects of mining*”. USA.
- ROMANA RUIZ, M., (2002), “*Determination of Deformation Modulus of Rock Masses by means of Geomechanical Classifications*”, ISRM International Symposium of Rock Engineering for Mountainous Regions – EUROROCK2002, Portugal
- SISKIND, D. E., STAGG, M. S., KOPP, J. W, AND DOWING, C. H. (1980), “*Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting*”, U.S. Bureau of Mines.
- ROSE, H.J.M., (1982), “*Radiation in Mines*”, 27, Environmental Engineering in South African
- SANDS, P., (1995). “*Principles of international environmental law*”, New York: Manchester University Press.
- SANZ CONTRERAS, J.L., (1992), “*Concepto de impacto ambiental y su evolución*”. ITGE, Gráficas Monterreina S.A., Madrid, Espanha.
- SERAFIM AND PEREIRA, (1983), “*Consideration of the Geomechanical Classification of Bieniawski*”, Proc. Int. Sym. Eng. Geological and Underground Construction. Lisbon 1 (II).
- SINGH, R. N. (1998), “*Wastewater Quality Management in Coal Mines in the Illawarra Region*”, University of Wollongon - Australia, International Conference on Mining and the Environment, Indonesia.
- SINGLETON, G.A. AND L.M. LAVKULICH, (1978), “*Adoption of the Soxhlet Extractor for Pedologic Studies*”. Soil Science Society of America Journal, Vol. 42, p. 984-986.
- SOBEK, A.A., SCHULLER, W.A., FREEMAN, J.R. SMITH, R.M., (1978) “*Field and Laboratory Methods Applicable to Overburden and Minessoils*”, EPA 600/2-78-054, US.

- SPOSITO, G., (1989). *“The Chemistry of Soils”*, Oxford University Pres, UK.
- STEWART, K.M., (2001), *“Health Effects of Diesel Exhaust”*. American Lung Association of Pennsylvania. US.
- STUMM, W., AND MORGA., J.J., (1981), *“Aquatic Chemistry. An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in natural Waters”*, 2nd edn, John Wiley, New York.
- SULLIVAN, P.J. AND A. SOBEK, (1982), *“Minerals and the Environment”*, Laboratory Weathering Studies of Coal Refuse , Volume 14, pp 561 – 568, US.
- SUMMERS BROUGHTON, L., E BONELLI ARENAS J., (1999), *“Guia ambiental para el amnejo de Drenaje Ácida de Minas”*, Dirección general de Asuntos Ambientales, MEM Peru.
- THOMPSON, J., CURLEY, R. AND KNUTSON, J., (2002), *“Reducing Water Pumping Costs”*, Development Engineer, Biological & Agricultural Engineering Dept. UC Davis One Shields Ave., Davis, CA 95616.
- TOMB, T. F., AND GERO, A. J., *et al.*, (1995), *“Analysis of Quartz Exposure Data Obtained from Underground and Surface Coal Mining Operations”* Mine Safety and Health Administration MSHA, Pittsburgh, Pennsylvania, US.
- TOMB, T. F. AND HANEY, R., (2001), *“Comparison of Number and Respirable Mass Concentration Determinations”*, Mine Safety and Health Administration MSHA, Pittsburgh, Pennsylvania, US.
- TROTTER, D.A., (1977), *“Safety’s newest concern – mine lighting”*, Canadian Mining Journal, July pp 24-31.
- TURCIC, P.M., AND BANFIELD, J.L., (1982), *“Ventilation of Mines by Fans”*. Chapter 11, Mine Ventilation and Air Conditioning”, Second Edition. The University of Alabama, US.
- UNAL, E., (1983), *“Design Guidelines and Roof Control Standards for Coal Mine Roofs”*, Pennsylvania, US.
- VIDALÓN, J., (2001). *“Mitigación de pasivos ambientales mineros en la cuenca alta del rio Pisco, Peru”*. XXV Convención de Ingenieros de Minas del Peru.
- VUTUKURI, V.S., *et al.*, (1986). *“Environmental engineering in mines”*. University of New South Wales, Sydney Australia.
- YOKOGAWA GROUP (2000), *“Environmental management of results versus targets. Environmental accounting”*, Japan.
- WILLIAMS, L., CHILTON, E. J. *et al.*, (1987), *“Measuring gaseous pollutants from diesel exhaust in underground mines”*. Proceedings: Bureau of Mines technology Transfer Seminar, Louisville, KY, and Denver, CO, US.
- WALLI, R.A., (1982), *“Mine Dust”*, Chapter 5 Mine Ventilation and Air Conditioning”, Second Edition. The University of Alabama, US.
- WALTON, W.H., (1978), *“International research programs in the pneumoconiosis, legislation, standards, medical aspects”*. Proceedings of the 2nd Australian pneumoconiosis conference, Sydney, Australia.

5.3. ANEXOS

Anexo 4.1 – Perdas de pressão por atrito em tubulação C_a (%)

DIÂMETRO NOMINAL													CAUDAL (m ³ /h)
em milímetros													
20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	
em polegadas													
¾	1	1¼	1½	2	2½	3	4	5	6	8	10	12	
7.5	2.7	0.75	0.22	0.08	.	.	.	.	.	.	.	.	1
16.0	6.0	1.8	0.5	0.17	.	.	.	.	.	.	.	.	1.5
27.0	10.0	2.7	0.8	0.28	0.07	.	.	.	.	.	.	.	2
58.0	21.5	6.0	1.8	0.6	0.16	0.05	.	.	.	.	.	.	3
100.0	27.0	10.0	3.0	1.06	0.27	0.1	.	.	.	.	.	.	4
.	55.0	15.5	4.7	1.8	0.42	0.15	0.05	.	.	.	.	.	5
.	80.0	22.0	6.6	2.2	0.6	0.2	0.07	.	.	.	.	.	6
.	.	37.0	11.5	3.9	1.0	0.35	0.13	.	.	.	.	.	8
.	.	56.0	17.0	5.7	1.5	0.5	0.2	0.06	.	.	.	.	10
.	.	85.0	26.0	8.5	2.3	0.8	0.28	0.09	.	.	.	.	12.5
.	.	.	37.0	12.5	3.3	1.1	0.4	0.13	0.05	.	.	.	15
.	.	.	47.0	16.0	4.2	1.4	0.5	0.17	0.06	.	.	.	17.5
.	.	.	63.0	21.5	5.7	2.0	0.7	0.23	0.09	.	.	.	20
.	.	.	95.0	33.0	8.5	3.0	1.1	0.36	0.13	.	.	.	25
.	.	.	.	45.0	12.0	4.2	1.5	0.5	0.2	0.05	.	.	30
.	.	.	.	61.0	16.0	5.7	2.0	0.65	0.24	0.06	.	.	35
.	.	.	.	78.0	20.5	7.0	2.5	0.8	0.3	0.08	.	.	40
.	.	.	.	100	26.0	9.0	3.1	1.0	0.4	0.1	.	.	45
.	32.0	11.0	3.8	1.25	0.5	0.12	.	.	50
.	45.0	16.0	5.5	1.8	0.7	0.16	0.05	.	60
.	60.0	21.0	7.2	2.4	0.9	0.21	0.07	.	70
.	76.0	26.5	9.2	3.1	1.2	0.27	0.08	.	80
.	34.0	12.0	3.8	1.4	0.36	0.12	.	90
.	40.0	14.0	4.7	1.8	0.42	0.14	.	100
.	56.0	20.0	6.8	2.5	0.6	0.2	0.08	120
.	80.0	27.0	9.0	3.3	0.8	0.26	0.1	140
.	36.0	11.5	4.25	1.0	0.34	0.13	160
.	43.0	14.0	5.3	1.25	0.42	0.17	180
.	50.0	17.5	6.5	1.8	0.5	0.2	200
.	80.0	26.5	10.0	2.3	0.8	0.32	250
.	36.0	14.0	3.3	1.1	0.48	300
.	19.0	4.5	1.5	0.6	350
.	5.8	1.9	0.8	400
.	7.0	2.4	1.0	450
.	2.9	1.2	500
Obs1: Quando da utilização de tubos de aço sem costura, de alumínio ou plástico rígido, as perdas de pressão se reduzem (20% factor 0.8). Estes porem quando munidos de juntas rápidas, apresentam maiores perdas, sendo, portanto, desaconselhável usar o factor de redução para determinação do diâmetro adequado dos tubos de sucção. Deve ser observado que a velocidade da água não deve ser superior a 2 m/s.													26.0
Obs2: Para sucção não devem ser usados os valores marcados em <i>bold</i>													
Obs3: Exemplo de uso da tabela: a perda de pressão por atrito em 30m de uma tubulação de 4" e para uma vazão de 5m ³ /h seria de 30m x 0.05% = 0.015m													

Anexo 4.2 – Perdas de pressão em registo de gaveta (m)

DIÂMETRO NOMINAL												Caudal m ³ /h
em milímetros												
25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	
em polegadas												
1"	1¼"	1½"	2"	2½"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	
0.01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
0.04	0.01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.5
0.09	0.03	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
0.18	0.06	0.02	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
0.36	0.12	0.04	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4
0.48	0.18	0.06	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5
0.60	0.30	0.09	0.04	.	.	.	.	.	.	.	.	6
.	0.40	0.18	0.06	.	.	.	.	.	.	.	.	8
.	0.65	0.30	0.12	0.04	.	.	.	.	.	.	.	10
.	.	0.36	0.18	0.06	.	.	.	.	.	.	.	12.5
.	.	0.60	0.24	0.09	0.04	.	.	.	.	.	.	15
.	.	0.90	0.36	0.13	0.06	.	.	.	.	.	.	17.5
.	.	1.20	0.40	0.15	0.07	0.04	.	.	.	.	.	20
.	.	.	0.65	0.27	0.12	0.06	.	.	.	.	.	25
.	.	.	0.90	0.36	0.15	0.07	.	.	.	.	.	30
.	.	.	1.20	0.45	0.21	0.09	0.04	.	.	.	.	35
.	.	.	.	0.65	0.27	0.11	0.05	.	.	.	.	40
.	.	.	.	0.85	0.33	0.12	0.06	.	.	.	.	45
.	.	.	.	0.90	0.40	0.18	0.09	0.04	.	.	.	50
.	.	.	.	.	0.60	0.25	0.12	0.05	.	.	.	60
.	.	.	.	.	0.90	0.33	0.15	0.07	.	.	.	70
.	.	.	.	.	1.20	0.40	0.18	0.09	0.03	.	.	80
.	.	.	.	.	.	0.50	0.20	0.11	0.04	.	.	90
.	.	.	.	.	.	0.70	0.27	0.12	0.05	.	.	100
.	.	.	.	.	.	1.20	0.40	0.18	0.06	.	.	120
.	.	.	.	.	.	.	0.50	0.25	0.09	0.04	.	140
.	.	.	.	.	.	.	0.65	0.36	0.12	0.05	.	160
.	.	.	.	.	.	.	0.90	0.40	0.13	0.06	.	180
.	.	.	.	.	.	.	1.20	0.50	0.18	0.08	0.04	200
.	.	.	.	.	.	.	.	0.90	0.24	0.11	0.05	250
.	.	.	.	.	.	.	.	1.20	0.33	0.15	0.09	300
.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.50	0.21	0.11	350
.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.60	0.30	0.15	400
.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.90	0.38	0.18	450
.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.20	0.40	0.22	500

Anexo 4.3 – Perdas de pressão em curvas de 90° (m)

DIÂMETRO NOMINAL												Caudal m ³ /h
em milímetros												
25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	
em polegadas												
1"	1¼"	1½"	2"	2½"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	
0.01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
0.02	0.01	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.5
0.06	0.02	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
0.12	0.04	0.02	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
0.25	0.06	0.03	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4
0.32	0.12	0.04	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5
0.40	0.16	0.06	0.03	.	.	.	.	.	.	.	.	6
.	0.28	0.12	0.04	.	.	.	.	.	.	.	.	8
.	0.45	0.20	0.06	0.03	.	.	.	.	.	.	.	10
.	.	0.25	0.12	0.04	.	.	.	.	.	.	.	12.5
.	.	0.40	0.16	0.06	0.02	.	.	.	.	.	.	15
.	.	0.60	0.24	0.09	0.03	.	.	.	.	.	.	17.5
.	.	0.80	0.30	0.10	0.04	0.03	.	.	.	.	.	20
.	.	.	0.40	0.18	0.06	0.04	.	.	.	.	.	25
.	.	.	0.60	0.24	0.10	0.05	.	.	.	.	.	30
.	.	.	0.80	0.30	0.15	0.06	0.02	.	.	.	.	35
.	.	.	.	0.45	0.18	0.07	0.03	.	.	.	.	40
.	.	.	.	0.55	0.22	0.08	0.04	.	.	.	.	45
.	.	.	.	0.60	0.26	0.12	0.06	0.02	.	.	.	50
.	.	.	.	.	0.40	0.16	0.08	0.03	.	.	.	60
.	.	.	.	.	0.60	0.22	0.10	0.05	.	.	.	70
.	.	.	.	.	0.80	0.26	0.12	0.06	0.02	.	.	80
.	.	.	.	.	.	0.32	0.14	0.07	0.03	.	.	90
.	.	.	.	.	.	0.50	0.18	0.08	0.03	.	.	100
.	.	.	.	.	.	0.80	0.26	0.12	0.04	.	.	120
.	.	.	.	.	.	.	0.34	0.16	0.06	0.02	.	140
.	.	.	.	.	.	.	0.45	0.24	0.06	0.03	.	160
.	.	.	.	.	.	.	0.60	0.28	0.09	0.04	.	180
.	.	.	.	.	.	.	0.80	0.32	0.12	0.05	0.02	200
.	.	.	.	.	.	.	.	0.60	0.16	0.07	0.03	250
.	.	.	.	.	.	.	.	0.80	0.22	0.10	0.06	300
.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.32	0.15	0.07	350
.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.40	0.20	0.10	400
.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.60	0.25	0.12	450
.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.80	0.30	0.15	500

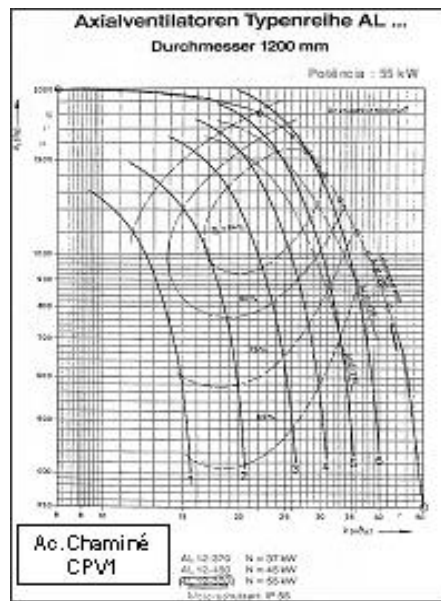
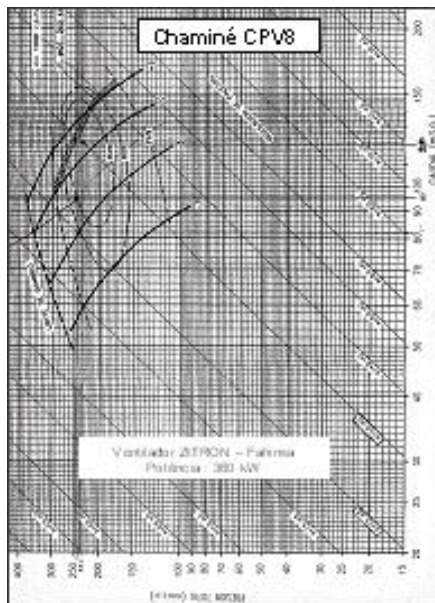
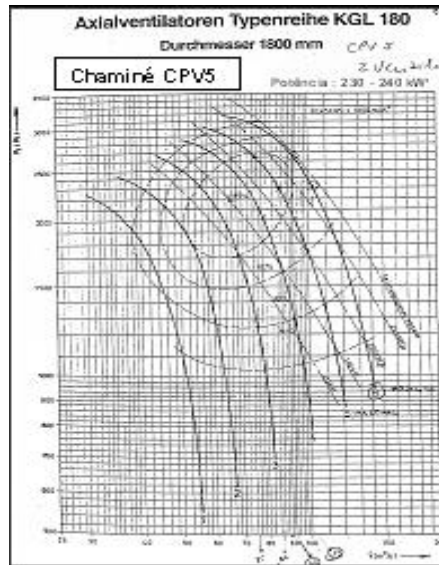
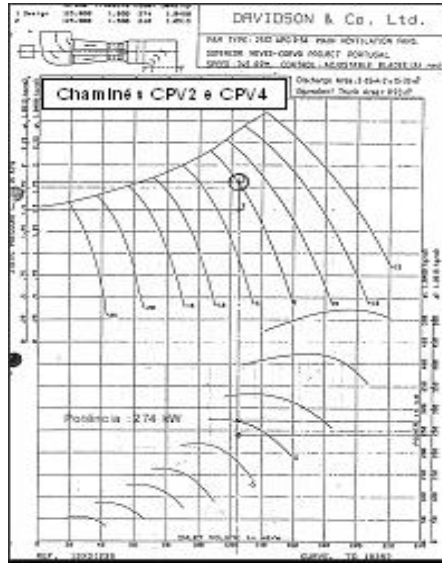
Anexo 4.4 – Perdas de pressão em válvula de pé (m)

DIÂMETRO NOMINAL										Caudal m ³ /h
em milímetros										
40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	
em polegadas										
1½"	2"	2½"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	
.	1
.	1.5
0.10	2
0.15	0.10	.	.	.	.	.	.	.	.	3
0.20	0.15	0.10	.	.	.	.	.	.	.	4
0.25	0.15	0.10	.	.	.	.	.	.	.	5
0.35	0.20	0.15	0.10	.	.	.	.	.	.	6
0.65	0.25	0.20	0.15	0.10	.	.	.	.	.	8
.	0.40	0.25	0.20	0.10	.	.	.	.	.	10
.	0.65	0.30	0.25	0.15	0.10	.	.	.	.	12.5
.	.	0.40	0.30	0.20	0.15	.	.	.	.	15
.	.	0.50	0.35	0.25	0.20	.	.	.	.	17.5
.	.	0.60	0.40	0.30	0.25	0.10	.	.	.	20
.	.	.	0.50	0.35	0.30	0.15	.	.	.	25
.	.	.	0.60	0.40	0.30	0.20	.	.	.	30
.	.	.	0.80	0.45	0.35	0.25	0.10	.	.	35
.	.	.	.	0.50	0.35	0.25	0.10	.	.	40
.	.	.	.	0.60	0.40	0.30	0.15	.	.	45
.	.	.	.	0.70	0.45	0.30	0.15	0.10	.	50
.	0.50	0.35	0.20	0.10	.	60
.	0.60	0.40	0.25	0.10	.	70
.	0.70	0.45	0.30	0.15	0.10	80
.	0.50	0.35	0.15	0.10	90
.	0.55	0.40	0.20	0.15	100
.	0.65	0.45	0.25	0.15	120
.	0.50	0.30	0.20	140
.	0.55	0.35	0.25	160
.	0.60	0.40	0.30	180
.	0.65	0.45	0.35	200
.	0.50	0.40	250
.	0.60	0.45	300
.	0.50	350
.	0.60	400
.	0.70	450
.	0.85	500

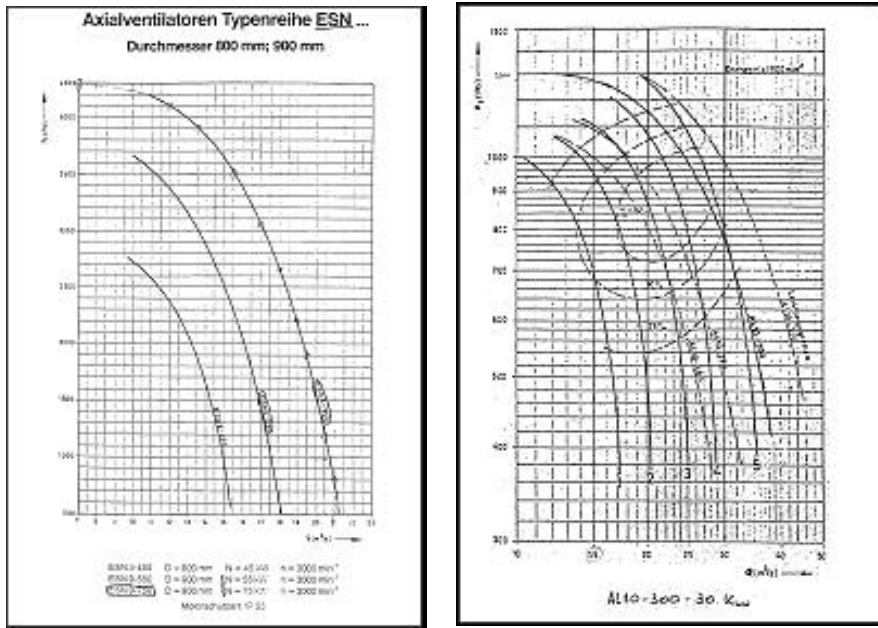
Anexo 4.5 – Perdas de pressão em válvula de retenção (m)

DIÂMETRO NOMINAL												Caudal m ³ /h
em milímetros												
25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	
em polegadas												
1"	1¼"	1½"	2"	2½"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	
0.02	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
0.06	0.02	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.5
0.15	0.05	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
0.30	0.10	0.04	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3
0.60	0.20	0.07	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4
0.80	0.30	0.11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5
1.00	0.40	0.15	0.07	.	.	.	.	.	.	.	.	6
.	0.70	0.30	0.11	.	.	.	.	.	.	.	.	8
.	1.10	0.50	0.20	0.06	.	.	.	.	.	.	.	10
.	.	0.60	0.30	0.10	.	.	.	.	.	.	.	12.5
.	.	1.00	0.40	0.15	0.06	.	.	.	.	.	.	15
.	.	1.50	0.60	0.22	0.08	.	.	.	.	.	.	17.5
.	.	2.00	0.70	0.25	0.11	0.07	.	.	.	.	.	20
.	.	.	1.10	0.45	0.20	0.08	.	.	.	.	.	25
.	.	.	1.50	0.60	0.25	0.12	.	.	.	.	.	30
.	.	.	2.00	0.75	0.35	0.15	0.06	.	.	.	.	35
.	.	.	.	1.10	0.45	0.18	0.08	.	.	.	.	40
.	.	.	.	1.40	0.55	0.20	0.10	.	.	.	.	45
.	.	.	.	1.50	0.65	0.30	0.15	0.06	.	.	.	50
.	.	.	.	.	1.00	0.40	0.20	0.08	.	.	.	60
.	.	.	.	.	1.50	0.55	0.25	0.12	.	.	.	70
.	.	.	.	.	2.00	0.65	0.30	0.15	0.06	.	.	80
.	.	.	.	.	.	0.80	0.35	0.19	0.07	.	.	90
.	.	.	.	.	.	1.20	0.45	0.21	0.08	.	.	100
.	.	.	.	.	.	2.00	0.65	0.30	0.10	.	.	120
.	.	.	.	.	.	.	0.85	0.40	0.15	0.06	.	140
.	.	.	.	.	.	.	1.10	0.60	0.20	0.08	.	160
.	.	.	.	.	.	.	1.50	0.70	0.22	0.10	.	180
.	.	.	.	.	.	.	2.00	0.80	0.30	0.13	0.06	200
.	.	.	.	.	.	.	.	1.50	0.40	0.18	0.08	250
.	.	.	.	.	.	.	.	2.00	0.55	0.25	0.15	300
.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.80	0.36	0.18	350
.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.00	0.50	0.25	400
.	.	.	.	.	.	.	.	.	1.50	0.60	0.30	450
.	.	.	.	.	.	.	.	.	2.00	0.70	0.36	500

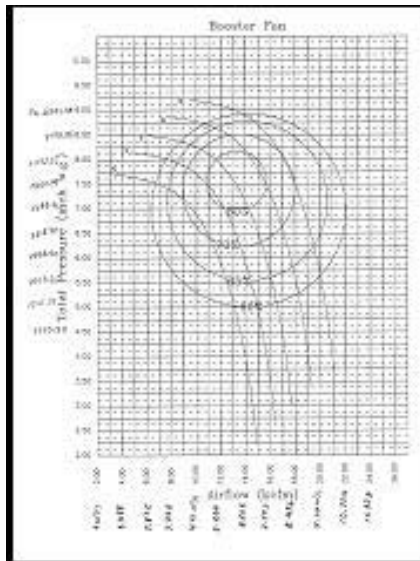
**Anexo 7.1 – Curvas características dos ventiladores principais
(Departamento de Ventilação de Minas Neves Corvo 2000)**



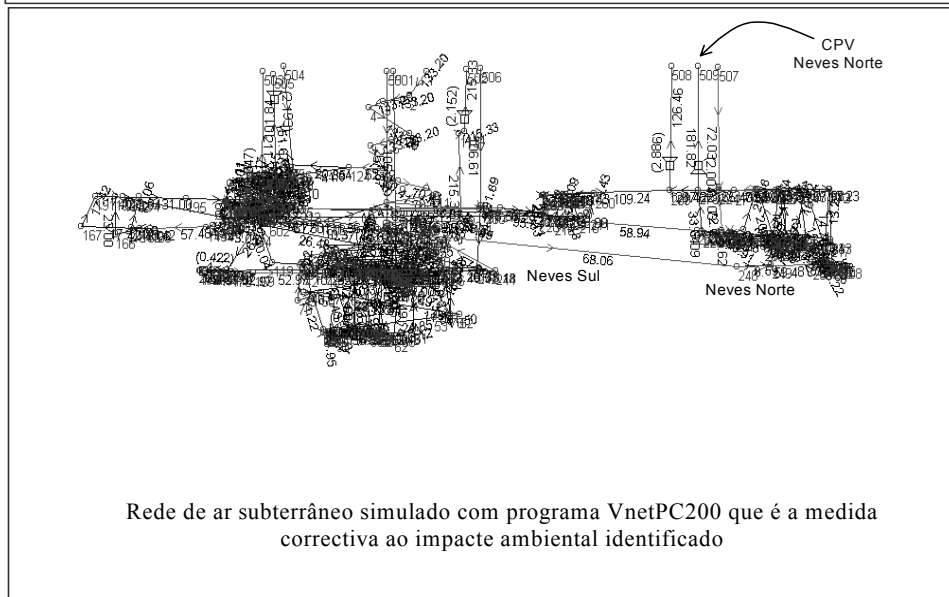
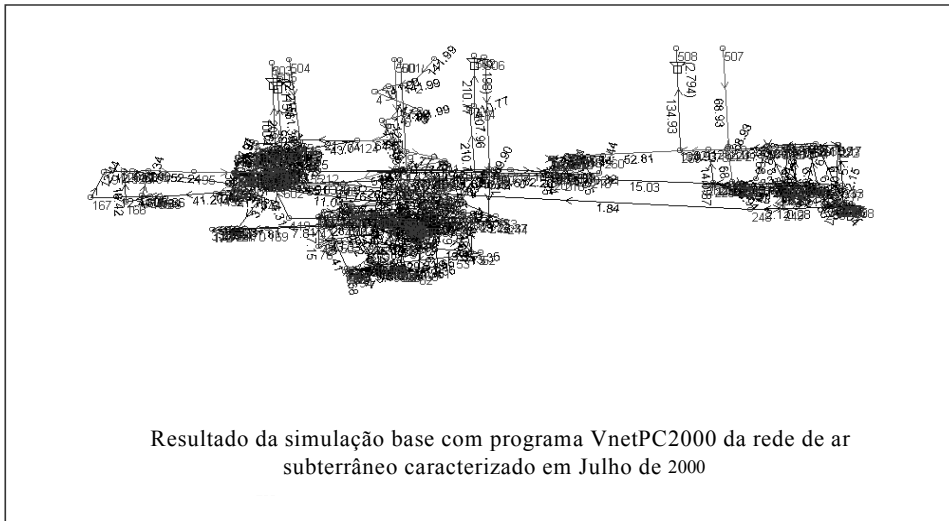
**Anexo 7.2 – Curva característica dos ventiladores auxiliares KORFMANN
(Departamento de Ventilação de Minas mina Neves Corvo 2000)**



**Curva característica de ventilador auxiliar Joy Axivane Mine Fan
(Mine Ventilation service, Inc US) - Panasqueira**



Anexo 7.3 – Redes de ar no ambiente subterrâneo resultado da simulação com o programa VnetPC2000



**Anexo 7.4 – Índice RQD e qualificação do maciço rochoso da área da rampa
CRAM03 (com base em J. Lobato 2001)**

Furo	Cota	RQD (%)	Descrição	Qualificação Bieniawski
RC242	682	74	Xistos no piso	Boa
	618	52		Média
RC243	692	85		Muito boa
RC257	682	91	Xistos	Muito boa
	615	38		Má
RC265	654	33	Xistos negros no piso	Má
RC293	612	42		Média
	586	77		Boa
RC368	669	40	Xistos negros	Má
	622	46		Media
RC601	622	67	Tufos com veias de pirite	Boa
	590	68		Boa
RC611	686	93	Pirite massiva	Muito boa
	559	72		Boa
RC614	662	93	Pirite massiva	Muito boa
RC615	662	87	Xistos com pirite	Muito boa
	612	93		Muito boa
	590	69		Boa
	573	85		Muito boa
RC620	662	87	Grawaques com algumas	Muito boa
RC630	569	43	fracturas e	Media
RC639	662	92	cristais de CO ₃	Muito boa
RC650	612	41		Media
RC661	681	82	Pirite massiva	Muito boa
RC719	631	39	Tufos silícios em xisto cinzento	Má
RC729	612	93	Tufos silícios com pirite massiva e calcopirite	Muito boa
	558	89		Muito boa
RC748	612	72	CVS xistos	Boa
RC776	612	42	CVS/PQ tufos silícios com algum Cu	Media
	590	36		Má
RC782	584	71	CVS	Boa
RC788	654	36	CVS tufos sil'cios com algum	Má
RC791	631	88	Cu	Muito boa
	612	41		Media
	592	81	Xistos	Muito boa

Anexo 8.1 – Resultados da medição de poeiras no ambiente subterrâneo da mina da Pansqueira

Data de medição: Janeiro de 2001.

Filtro Nro.	LOCAL	Peso Filtro (g)*	Peso Filtro+ Poetas (g)*	Peso poeiras		Captador de Alto Volume-CAV			Concentração		
				(g)	(µg)	Caudal (m ³ /h)**	Tempo C (h)**	Vol. Total (m ³)**	mg/m ³	µg/m ³	mg/m ³ (***)
1	L2. Poço extração (antes passagem ar poço)	3.9604	4.3485	0.3881	388150	80	12.06	965	0.4024	402.238	
2	L2. Poço extração (depois passagem ar poço)	3.9463	6.6206	2.6742	2674250	80	11.79	943	2.8359	2835.896	2.0612
3	L3. Poço de extração (antes passagem ar poço)	3.9730	4.1000	0.1270	127000	80	12.03	962	0.01203	12.025	1.0214
4	L3. Poço de extração (antes passagem ar poço)	3.95155	4.0522	0.1006	100650	80	11.95	956	0.01053	10.528	
5	L2.P4. Virador vagoes de minério	3.9656	6.7880	2.8224	2822450	80	11.64	931	3.0316	3031.633	1.7355
6	L2.P4. Virador vagoes de minério	3.9695	6.1680	2.1985	2198500	80	11.41	913	2.4079	2407.996	
7	Câmara de quebragem	4.0269	5.1020	1.0751	1075100	80	7.06	565	1.9028	1902.832	5.4305
8	L3.D21.R(-2).AW33	4.0367	4.7985	0.7618	761850	80	5.30	424	1.7968	1796.816	
9	L3.D21.R(-2).AW33	4.0648	5.1205	1.0557	1055750	80	7.29	583	1.8109	1810.892	1.7341
11	Cabeça de correia	4.0206	5.8595	1.8389	1838900	80	9.93	794	2.3160	2315.990	0.6211
12	Cabeça de correia	3.9669	6.2862	2.3193	2319300	80	8.53	682	3.4007	3400.733	

* Laboratório da Beralt & Tin Wolfram (Portugal) S.A.

** Captação “in situ” com CAV-A/HF

*** Medição no mês de Setembro de 2001

Anexo 8.3 – Resultados da medição de gases no ambiente subterrâneo da mina da Panasqueira

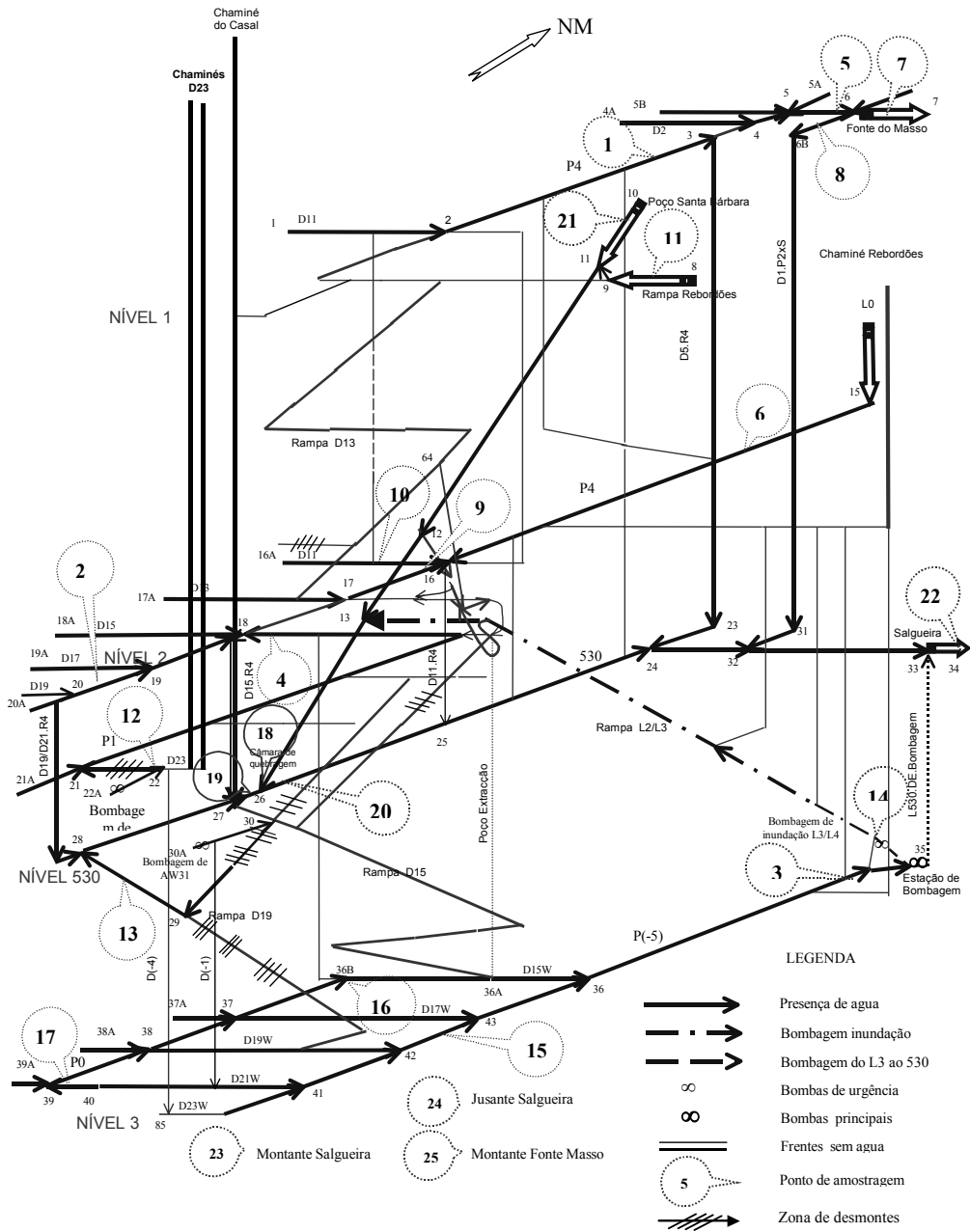
BERALT TIN & WOLFRAM
Portugal S.A. - IST

Tabela 4: BASE DE DADOS DE GASES NO AR DO AMBIENTE SUBTERRÂNEO DA MINA DA PANASQUEIRA

DATA:13/12/2000 a 12/02/2001

Ensaio Nro.	LOCAL DE ENSAIO	EQUIPAMENTO NO AMBIENTE	HOMENS	GASES NO AMBIENTE SUBTERRÂNEO												Observações
				CO		CO2		NO		NO2		SO2		H2S		
				ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	%	
1	L3.D21.R-2.AW33(N9)	LHD Diesel Wagner 3.5Yd3	2	20	0.002	1000	1.00	2.00	0.00	3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por duas câmaras
2	L3.D21.R-2.AW33(E72)	LHD Diesel Wagner 3.5Yd3	2	500	0.05	3000	0.30	1.00	0.00	3.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por só uma câmara
3	L3.D21.R-2.AW33(W76)	LHD Diesel Wagner 3.5Yd3	2	100	0.01	1100	1.10	0.70	0.00	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por duas câmaras
4	L3.D19.R1.AW30(N420)	Jumbo electro hidraulico	2	0.00	0.00	2500	0.25	0.40	0.00	9.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por só uma câmara
5	L3.D19.R1.AW30(E421)	LHD Diesel Wagner 3.5Yd3	2	200	0.02	100	0.01	0.10	0.00	6.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por só uma câmara
6	L3.D19.R1.AW32(N59)	LHD eléctrica Wagner 2.5Yd3	2	200	0	2000	2.00	0.40	0.00	8.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por duas câmaras
7	L3.D19.R1.AW32(E31)	Jumbo electro hidraulico	2	0.00	0.00	400	0.04	0.10	0.00	6.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por duas câmaras
8	L3.D19.R-3.AW30(N280)	LHD eléctrica Eimco #1	2	100	0.01	0	0.00	0.20	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por quatro câmaras
9	L3.D19.R-3.AW30(428)	Jumbo electro hidraulico	2	0.00	0.00	0	0.00	0.20	0.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por duas câmaras
10	L3.D17.R1.AW33(WN6)	LHD Diesel Wagner 3.5Yd3	2	0.00	0.00	0	0.00	0.30	0.00	12.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por duas câmaras
11	L3.D19.R0.AW32(I4N)	LHD Diesel Wagner 3.5Yd3	2	5	0.00	0	0.00	0.00	0.00	2.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por duas câmaras
12	L3.D19.R5.AW30(E423)	LHD eléctrica Wagner 2.5Yd3	2	0.00	0.00	0	0.00	0.30	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso de só uma câmara
13	L3.D19.R1.AW32(59)	LHD eléctrica Wagner Yd3	2	0.00	0.00	200	0.02	0.10	0.00	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por tres câmaras
14	L3.D21.R2.AW33(S72)	LHD eléctrica Wagner 2.5Yd3	2	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por duas câmaras
15	L3.D19.R2.AW32(I4S)	LHD eléctrica Wagner 2.5Yd3	2	0.00	0.00	500	0.05	0.00	0.00	5.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por só uma câmara
16	L3.D21.R-1.AW33(30)	LHD Diesel Wagner 3.5Yd3	2	500	0.05	1000	0.10	1.60	0.00	2.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por quatro câmaras
17	L3.D21.R-1.AW33(E10)	LHD Diesel Wagner 3.5Yd3	2	500	0.05	2000	0.20	3.50	0.00	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso de só uma câmara
18	L3.D21.R-1.AW33(43)	LHD Diesel Wagner 3.5Yd3	2	0.00	0.00	500	0.05	1.20	0.00	0.70	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por quatro câmaras
19	L3.D21.R-2.AW33.Ac.r.D23(23)	LHD Diesel Wagner 3.5Yd3	2	10.0	0.001	0	0.00	3.20	0.0003	2.30	0.0002	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso de só uma câmara
20	L2.Poço Extracção	Jaula e vagões	4	0.00	0.00	0	0.00	0.30	0.0000	0.80	0.0001	0.00	0.00	0.00	0.00	Galeria L2.D15
21	L3.D21.R-2.AW33.Ac.r.D23(20)	Carregamento explosivo ANFO	2	10.00	0.00	1000	0.10	0.60	0.00	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso de só uma câmara
22	L3.D21.R-1.AW33(S23)	Perto carregamento explosivo ANFO	2	10.00	0.00	1000	0.10	2.50	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso de só uma câmara
23	L3.D21.R-1.AW33(78)	LHD Diesel Wagner 3.5Yd3	2	10.00	0.00	2000	0.20	2.60	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso de só uma câmara
24	L2.P4.D13.Raque	LHD Diesel Wagner 3.5Yd3	1	0.00	0.00	500	0.05					0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso por duas câmaras
25	L3.D21.R-1.AW33	LHD Diesel Wagner 3.5Yd3	2	30.00	0.003	2000	0.20	3.50	0.0004	1.00	0.0001	0.00	0.00	0.00	0.00	Acesso de só uma câmara

Anexo 8.4 – Pontos de colheita de água no ambiente da mina da Panassqueira



Anexo 8.5 - Caudal e resultados de análise laboratorial de água subterrânea da mina da Panasqueira

BERALT TIN &
WOLFRAM Portugal
S.A. - IST

Tabela BASE DE DADOS DE AGUA NO AMBIENTE
SUBTERRÂNEO DA MINA PANASQUEIRA

DATA: 12, 15, 16 e 17
de Janeiro 2001

Cód. Ensaio	FONTES DE AGUA	LOCAL DE ENSAIO	CAUDAL (l/s)	AMOSTRA Nro.	RAMO**		L (m)	QUALIDADE DE AGUA*							OBSERVAÇÕES
					de	a		pH	Sólidos grs/l	Cu ppm	Zn ppm	Fe ppm	Mn ppm	As ppm	
L1-1	Chaminés (Torvas) do D11W	D11W	3,31	1	2	3	200,0	6,54	0,34	0,10	0,44	4,60	0,27	0,028	Água drena pela chaminé R4.D5
L1-2	D3W, D2W, D1W, P4 e P3	D1 entre P3 e P2	81,24	5	5	6	220,0	3,50	0,66	0,59	2,03	3,70	4,68	0,0067	Água de zonas antigas pela galeria a Fonte de Masso
L1-3	D1, P2.N	P2.S	12,99	8	6	6B	80,00	3,49	0,76	0,63	2,11	23,4	4,94	0,012	Água drena pela chaminé D1.P2xS a L530
L1-4	Nível 1	Boca Mina Fonte de Masso	91,70	7	6	7	1250,0	3,55	0,45	0,42	1,80	4,35	3,95	0,0074	Água drena ribeira de Bodelhão
L1-5	Filtrações perto da superfície	Rampa Rebordões	8,60	11	8	9	200,90	6,07	0,10	0,02	0,15	0,98	0,19	0,0000	Água drena por acesso a Poço S. Bárbara
L1-6	Superfície	Poço S. Bárbara entre Rebordões e L1	-	21	10	11	123,90	6,09	0,09	0,03	0,25	0,16	0,05	0,0053	Água drena por Poço S. Bárbara
L2-7	Chaminés (Torvas) do D11W	D11W entre P5A e P4	4,71	10	16A	16	-	6,42	0,66	0,14	0,47	4,65	0,78	0,031	Água drena a Ch.Elevador e R4.D11
L2-8	Norte de P4 (L0)	P4 entre D7 e D5	3,75	9	15	16	666,00	5,17	4,71	0,31	5,00	17,40	11,20	0,030	Água drena por Chaminé D11.R4
L2-9	P4.S e D11W	P4 entre D11 e Ch.elevador	7,53	6	-	-	-	7,43	0,63	0,70	0,99	3,85	1,66	0,040	Água drena por chaminé elevador
L2-10	D17.W (desmontes antigos)	D17W antes de P4	3,10	-	19A	19	-	-	-	-	-	-	-	-	Água drena a P4
L2-11	Zona D19W (desmontes/subsidência)	P4 entre D17 e D19	57,24	2	19	18	-	3,16	1,30	3,03	10,40	23,20	12,40	0,031	Água drena a P4
L2-12	Chaminé perto do Casal	P4, perto do Ch. Casal	18,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Água drena a Chaminé do Casal
L2-13	Desmontes antigos(subsidência)	D15W perto do P4	100,26	-	18A	18	-	-	-	-	-	-	-	-	Água drena ao D15.R4
L2-14	Sul do P1 e Bombagem de AW31	D15E antes de P4	55,86	4	21	18	680,00	4,31	1,02	2,07	15,00	5,80	7,00	0,040	Água drena a P4 e depois a Chaminé D15.R4
L2-15	Bombagem de AW27	D23.E, bombagem	10,00	12	22	21	112,00	6,20	0,64	1,56	11,60	0,18	4,30	0,0053	Água drena a P1
L2-16	Zona P1 Sul, desmontes(subsidência)	P1 antes de D23	45,86	-	21A	21	-	-	-	-	-	-	-	-	Água drena pelo P1
L3-17	R0.W	Rampa D19 entre R0 e acesso AW31	4,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Água do R0 junta-se com água bombada de AW31
L3-18	Desmontes AW31	Bombagem	39,35	-	30A	30	-	-	-	-	-	-	-	-	Água drena à Rampa D19
L3-19	Rampa D19	Acesso a L530	43,97	13	29	28	51,30	3,70	1,04	2,33	12,60	4,49	8,60	0,036	Água drena ao L530
L3-20	Estação de bombagem	L3/L4	71,56	14	35	13	957,00	6,50	1,00	0,27	4,60	0,82	4,92	0,013	Água bomb. da estação bombag. à C. de queb. pela
L3-21	Nível 3	Acesso de L3 a E. Bombagem	50,2	3	36	35	700,00	6,72	1,95	0,40	5,00	1,72	7,00	0,025	Água drena a E. Bombagem
L3-22	Chaminés(Torvas) D15	D15W antes de P(-5)	10,82	-	36A	36	270,00	-	-	-	-	-	-	-	Água drena ao P(-5)
L3-23	Acessos de D17W, D19W	Entre P0 e D15W	5,98	16	36B	36A	193,00	3,65	3,91	2,38	10,40	5,80	25,40	0,098	Água drena ao D15W
L3-24	Chaminé (Torva) D21.R0	D21W antes de P0	3,15	17	40	36B	345,00	4,14	2,28	3,16	21,80	11,43	30,40	0,0044	Água drena ao P0
L3-25	Chaminé e Torvas de D21W e P-5 desde D21.R0	P(-5) entre D17W e D19W	5,19	15	40	36	733,00	6,64	1,40	0,29	4,40	0,67	6,40	0,018	Água drena pela P(-5)
L3-26	Superfície, L1 e L2	Poço S. Bárbara entre L2 e acesso rampa L2/L3	28,4	-	12	13	140,00	-	-	-	-	-	-	-	Água drena à Câmara de quebragem
L3-27	Superfície, L1, L2 e E.Bombagem	Câmara de quebragem	-	18	13	26	40,00	6,20	0,21	0,18	0,97	1,60	0,76	0,025	Água drena ao L530
L3-28	Chaminé Casal e Ch.D15.R4	Entre Ch.Casal e acesso a P.S. Bárbara	286,5	19	27	26	93,00	4,70	0,94	2,34	14,20	5,40	7,20	0,025	Água drena pelo L530
L3-29	Ch.Casal, Ch.D15.R4, C.quebragem	Depois do acesso a P.S. Bárbara	-	20	30	25	365,00	5,41	1,07	1,75	11,2	5,00	7,00	0,0056	Água drena pelo L530, a Salgueira
L3-30	P4	D5.R4	3,31	-	3	23	90,00	-	-	-	-	-	-	-	Água drena a L530 de L1
L3-31	P2	D1.P2xS	12,99	-	6B	31	90,00	-	-	-	-	-	-	-	Água drena a L530 de L1
L3-32	Estação de bombagem	L530.DE Bombagem	0,00	-	35	33	60,00	-	-	-	-	-	-	-	Chaminé de bombagem, não usado por inundação
L3-33	D13, P4(sul) P4(norte) e D11	D11.R4	8,46	-	16	25	30,00	-	-	-	-	-	-	-	Água drena a L530 de L2
L3-34	Zona desmontes antigos L2, depois de D19	D19W /D21.R4	-	-	20A	28	30,00	-	-	-	-	-	-	-	Água drena a L530 de L2
L3-35	L1(parte) ,L2,L3	Boca Mina Salgueira	810,22	22	25	34	-	3,99	1,05	2,01	12,60	4,09	8,60	0,026	Água drena a ribeira Bodelhão
L3-36	Ribeira Bodelhão, L1	Ribeira de Bodelhão antes de água de Mina Salgueira	-	23	-	-	-	5,16	0,12	0,15	1,04	0,03	0,87	0,0000	Água drena a rio Zézere
L3-37	Ribeira Bodelhão, L1,L2,L3	Ribeira de Bodelhão depois de água de Mina Salgueira	-	24	-	-	-	4,18	0,81	3,11	15,80	2,91	8,20	0,026	Água drena a rio Zézere
L3-38	Das linhas de água	Montante Fonte do Masso	-	25	-	-	-	5,27	0,06	0,04	0,52	0,13	0,09	0,00	Água drena a rio Zézere

* Laboratório de BERALT TIN & WOLFRAM Portugal S.A., Mina de Panasqueira.

** Mapa de presença de água no ambiente subterrâneo da mina da Panasqueira (Janeiro 2001).

Anexo 9.1 – Parâmetros térmicos, dinâmicos e volumétricos da mina de San Rafael

MINSUR S.A.													DATA: 20/ 09/2001		
IST - UTL													MEDICAO DE PARAMETROS DINAMICOS E TERMICOS DO AMBIENTE SUBTERRÂNEO		
													T.Exterior Inicio(4 am)Ts:2°C,Th:1°C		
													T.Exterior Fim(4 pm)Ts:13.5°C,Th:12°C		
NIVEL	FRENTE	ESTAC	TRECHO		COMP	SEC	VELOCIDADE		CONDICIOES TERMICA			OBSTR.	PAREDE	OBSERVACOES	
			de	a			m	m2	m/s	m3/s	Ts(°C)				Th(°C)	Hr(%)
Rpa.523	523-254	1	35	55		20.8	0.39	8.11	27	22		Nao	Rocha	Estacao em Km.7	
3850	RB(Cx 3850)	2	34	52		2.54	9.25	23.50	31	30		Nao	Rocha	?	
3850	RB(Cx 3850)	3	33	34		2.54	0	0.00	32	31		Nao	Rocha	Ventil. Desligado	
Rpa.523	523 -243	4	34	41		22.5	0.01	0.23	30	29		Nao	Rocha	Ar tranquilo	
Rpa.523	523-239	5	40	41		21.4	1.79	38.31	28	27		Nao	Rocha	Ventil. Desligado	
Rpa.523	523-236	6	9	40		19.9	1.74	34.63	27	26		Nao	Rocha		
4100	100-27N	7	27	28		17.8	1.58	28.19	19.5	16.5		Leve	Rocha	Ventil.conectado	
4100	100-27N	8	28	29		4.72	2.05	9.68	18.5	16.5		Nao	Rocha	Ventil.conectado	
4125	Cx-125	9	15	16		9.24	0.98	9.06	14	12.5		Nao	Rocha		
Rpa.523	523-Niv 150 +20m	10	6	7		27.8	1.4	38.93	16.5	15		Nao	Rocha		
4200	200-S(Cx San Rafael)	11	25	26		?	2.54		11	10.5		Nao	Rocha	Ar entra à chamine	
4200	200-22-N	12	59	86		22.7	2.37	53.68	24	23.5		Nao	Rocha	By Pass	
4200	200-22-N	13	59A	86		6.51	0.98	6.38	24.5	24		Moderada	Rocha	"Veta techo"	
4200	200-3	14	86	87		5.96	13.65	81.35	25	24.5		Nao	Rocha		
4450	450-N	15	11	12		12.5	1.01	12.63	11.5	11		Nao	Rocha	Estac. Ventilacao	
4450	450-N	16	11	12		11.5	1.06	12.20	6.5	5.5		Nao	Rocha	Estac. Ventilacao	
Rpa.523	523-02	17	1	6		24.8	4.68	116.06	8.5	8		Nao	Rocha	Estac. Ventilacao	
4533	533-120-N	18	54C	51		7.57	2.13	16.12	19	18.5		Leve	Rocha	Ventil.ligado	
4533	533-125N	19	96	51		7.63	1.81	13.81	20	19.5		Nao	Rocha	Ventil.ligado	
4533	533-117N	20	54C	51		9.88	1.81	17.88	19.5	19		Nao	Rocha	Galeria paralela 54C-51	
4533	533-102N	21	50	54C		9.12	1.17	10.67	20	19.5		Nao	Rocha	Ventil.ligado	
4533	533-98N	22	50A	50		8.42	1.21	10.19	20	19.5		Nao	Rocha	Ventil.ligado	
4533	533-88N	23	61	50A		4.28	4.22	18.06	20	19.5		Nao	Rocha	Porta aberta	
4533	533-71N	24	62	61		5.13	2.24	11.49	20	19.5		Nao	Rocha		
4600	600 San Rafael	25	4	21		11.9	1.72	20.54	9	7		Nao	Rocha	Estac. Ventilacao	
4666	666 San Rafael	26	5	36		13.1	1.1	14.37	9	7		Nao	Rocha	Estac. Ventilacao	
4600	Zapata	27	3	22		8.26	0.44	3.63	6.5	6		Nao	Rocha	Estac. Ventilacao	
4533	A chaminé está em processo de alargamento							0.00				Nao	Rocha	Estac. Ventilacao	
	Gal. Patron EV2	28				4	1.37	5.48	14.5	14		Nao	Rocha	Estac. Ventilacao	
	Ch. Volcan EV3	al medir a 2m (indirec.)						0.00				Nao	Rocha	Estac. Ventilacao	
	Ch. Patron EV1	na seccao irregular (indirec.)						0.00				Nao	Rocha	Estac. Ventilacao	
	Ch. Alimak EU5	vel o acesso(indirec.)						0.00				Nao		Estac. Ventilacao	
	Tajeos EV4	na seccao irregular(indirec.)						0.00				Nao	Rocha	Estac. Ventilacao	
	Ch. 4850 EU3	vel o acesso(indirec.)						0.00				Nao		Estac. Ventilacao	
	Gal. 4890 EU3	vel o acesso (indirec.)						0.00				Nao		Estac. Ventilacao	
	Ch.4920 EU1	vel o acesso(indirec.)						0.00				Nao		Estac. Ventilacao	

CYTED

Secretaria General

Fernando Aladana Mayor – Secretario General

Leonardo Uller – Secretario Adjunto

Antonio Hidalgo – Director Técnico

CYTED XIII

<http://www.cetem.gov.br/cyted-xiii>

Coordinadores Internacionales

Roberto C. Villas-Bôas (desde 1998)

Lelio Fellows Filho (1986 a 1996)

REDES

Red XIII-A : Red Iberoamericana sobre Fragmentación de Minerales (Finalizada)

Coordinador de la Red : Dr. Jorge Fernando Concha Arcil
Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería,
Universidad de Concepción
Casilla 53-C
Concepción - CHILE
Tels: (56 41) 23 07 59 o 23 49 85 Ext. 2241

Red XIII-B : Red Iberoamericana sobre Metales Preciosos (Finalizada)

Coordinador de la Red : Dr. César Cánepa Iannacone
Universidad Nacional de San Marcos
Pasaje La Princesa A-1
La Castellana SURCO,
Lima 33 - PERÚ
Tels: (51 1) 476 07 23 / 448 09 92 / 970 42 95
Fax: (51 1) 475 25 64 / 448 09 92

Red XIII-C : Red Iberoamericana de Rocas y Minerales Industriales (Finalizada)

Coordinador de la Red : Dr. Benjamín Calvo Pérez
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas
Universidad Politécnica de Madrid
C/ Ríos Rosas nº 21
28003 Madrid - ESPAÑA
Tels: (34) 91 336 64 55 / 442 36 35 / 336 70 23
Fax: (34) 91 442 95 12

Red XIII-D : Red Iberoamericana Sobre la Geomecánica en Función de un Desarrollo Minero Sostenible (Finalizada)

Coordinador de la Red : Dr. Roberto Cipriano Blanco Torrens
Instituto Superior Minero Metalúrgico
Las Coloradas s/n
83329 Moa, Holguín – CUBA
Tels: (53 24) 642 14 / 666 78 Fax: (537) 333 523 / (53 24) 622 90

Red XIII-E: Red Iberoamericana sobre Ordenamiento Del Territorio em Mineral (en ejecución)

Coordinador de la Red : M.Sc. Luís M. P. Martins
Instituto Geológico e Mineiro
Departamento de Prospecção de Minérios Metálicos e
de Rochas e Minerais Não Metálicos
Estrada da Portela, Bairro do Zambujal, Apartado 7586
2721-866 Alfragide - PORTUGAL
Tels: +351 214705400
Fax: +351 214718940

PROYECTOS

A1. Desarrollo de Guías de Exploración para Metales Preciosos en Complejos Ofiolíticos (Finalizado)

Coordinado por: Prof. Eurico Sousa Pereira
Instituto Geológico Minero
Rua da Aimiera s/n.
Apartado 1089. 4466 956
S. Mamede Infesta - PORTUGAL
Teléfonos: (351 22) 353 75 96 / 951 19 15 - Fax: (351 22) 353 77 09
E-Mail: eurico.pereira@igm.

A2. Ferlizantes en Iberoamerica (en ejecución)

Coordinado por: Hugo Nelson
Secretario General
Universidad Nacional de San Martín
Tel: 4512-5151
Cel: 15-5182-5159
E-mail: hugo.nielson@unsam.edu.ar

A3. Analise de Riesgos Geomecanicos (en ejecución)

Coordinado por: Roberto Cipriano Blanco Torrens
Instituto Superior Minero Metalúrgico
Las Coloradas s/n
83329 Moa. Holguín – CUBA
Tels: (53 24) 642 14 / 666 78 Fax: (537) 333 523 / (53 24) 622 90

ÁREAS TEMÁTICAS

APOYO A POLÍTICAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Subprograma I - Metodología en Ciencia y Tecnología
Subprograma XIV - Gestion de la Investigacion y el Desarrollo Tecnologico

MEDIO AMBIENTE

Subprograma XII - Diversidad Biológica
Subprograma XV - Corrosion e Impacto Ambiental sobre Materiales
Subprograma XVII - Aprovechamiento y Gestión de Recursos Hídricos
Subprograma XVIII - Tecnologías de Previsión y Evaluación de Desastres Naturales

RECURSOS ENERGÉTICOS

Subprograma IV - Biomasa como Fuente de Productos Quimicos y Energia
Subprograma VI - Nuevas Fuentes y Conservacion de la Energia (Excluida Biomasa)

TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y DE LAS COMUNICACIONES

Subprograma VII - Electronica e Informatica Aplicadas
Subprograma IX - Microelectronica

TECNOLOGÍA DE LA SALUD Y DE LA ALIMENTACIÓN

Subprograma II - Acuicultura
Subprograma III - Biotecnología
Subprograma X - Quimica Fina Farmaceutica
Subprograma XI - Tratamiento y Conservacion de Alimentos
Subprograma XIX - Tecnologias Agropecuarias

TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES
Subprograma V - Catalisis y Adsorbentes
Subprograma VIII - Tecnología de Materiales
Subprograma XIII - Tecnología Mineral
Subprograma XIV - Tecnología de Viviendas de Interes Social

SUBPROGRAMAS (até 31/12/2005)

I.-METODOLOGIA EN CIENCIA Y TECNOLOGIA
Dr. *Jesús Blanco Álvarez*

II.-ACUICULTURA
Dr. *Manuel M. Murillo* (II)

III.-BIOTECNOLOGIA
Dr. *Mitermayer Galvao dos Reis*

IV.-BIOMASA COMO FUENTE DE PRODUCTOS QUIMICOS Y ENERGIA
Dr. *Roberto E. Cunningham*

V.-CATALIZADORES Y ADSORBENTES PARA EL MEDIO AMBIENTE Y CALIDAD DE VIDA
Dr. *Paulino Andreu*

VI.-NUEVAS FUENTES Y CONSERVACION DE LA ENERGIA (EXCLUIDA BIOMASA)
Dr. *Luis Roberto Saravia* (VI)

VII.-ELECTRONICA E INFORMATICA APLICADAS
Dr. *Ricardo Baeza Yates* (VII)

VIII.-TECNOLOGIA DE MATERIALES
Dra. *Osmara Ortíz Núñez*

IX.-MICROELECTRONICA
Dr. *Jordi Aguiló*

X.-QUIMICA FINA FARMACEUTICA
Dr. *Mahabir P. Gupta*

XI.-TRATAMIENTO Y CONSERVACION DE ALIMENTOS
Dra. *Jenny Ruales Nájera* (XI)

XII.-DIVERSIDAD BIOLÓGICA
Dr. *Peter Mann de Toledo*

XIII.-TECNOLOGIA MINERAL
Dr. *Roberto Cerrini Villas Boas*

XIV.-TECNOLOGIA DE VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL
Dr. *Edin de Jesús Martínez Ortega* (XIV)

XV.-CORROSION E IMPACTO AMBIENTAL SOBRE MATERIALES
Dra. *M^a. Carmen Andrade Perdrix*

XVI.-GESTION DE LA INVESTIGACION Y EL DESARROLLO TECNOLOGICO
Dra. *María Carlota de Souza Paula*

XVII.-APROVECHAMIENTO Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS
Dra. *Alicia Fernández Cirelli*

XVIII.-TECNOLOGÍAS DE PREVISIÓN Y EVALUACIÓN DE DESASTRES NATURALES
Dr. *Pablo Lagos*

XIX.-TECNOLOGÍAS AGROPECUARIAS
Dr. *José Ramón Díaz Álvarez*

CNPq

Diretoria Executiva do CNPq

Erney Felício Plessmann de Camargo
Presidente

Manuel Domingos Neto
Vice-Presidente

Gilberto Pereira Xavier
Diretor Administrativo

José Roberto Drugowich de Felício
Diretor de Programas Horizontais e Instrumentais

Manoel Barral Netto
Diretor da área de Programas Temáticos e Setoriais

Maria Claudia Miranda Diogo
Assessoria de Cooperação Internacional

Otros libros de interés:

ZERO EMISSION, Editors Villas Bôas, R.C. and Khan, J., IATAFI, Bergen, Norway, p.120.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT: CONCEPTS, SCENARIOS AND STRATEGIES FOR R&D (jointly written by M.L.Barreto, H.V.Medina, C.C.Peiter and R.C.Villas Boas; in Science, Technology and Innovation Policy.

TECHNOLOGICAL CHALLENGES POSED BY SUSTAINABLE DEVELOPMENT: THE MINERAL EXTRACTION INDUSTRIES, Editors R.C.Villas Boas and Lelio Fellows Filho, UNIDO and CYTED, p.410.

CIERRE DE MINAS EN IBEROAMERICA; Editors R.C.Villas Boas and Laura Barreto, CYTED, p.516.

CANTERAS ESCUELAS EN IBEROAMERICA, Editors Roberto C. Villas Bôas and Gildo de A. Sá C. de Albuquerque. Rio de Janeiro: CNPq/CYTED, ISBN 85-7227-142-2, 2001, 220p.: il

O CONHECIMENTO COMO FATOR DE PRODUTIVIDADE, Autor: Marcelo de Matos. Editors: Roberto C. Villas Boas and Lelio Fellows Filho, Rio de Janeiro: CNPq/IMAAC/UNIDO, ISBN 85-7227-146-5, 2001, 202p.: il

MERCURY IN THE TAPAJOS BASIN / Roberto C. Villas Bôas, Christian Beinhoff, Alberto Rogério da Silva. Rio de Janeiro: CNPq/CYTED, ISBN 85-7227-148-1, 2001, 198p.: il

LA MINERIA EN EL CONTEXTO DE LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO / Roberto C. Villas Bôas, Roberto Page. Rio de Janeiro: CNPq/CYTED, ISBN 85-7227-147-3, ISBN 85-7227-164-3, 2002, 418p.: il

INDICATORS OF SUSTAINABILITY: FOR THE MINERAL EXTRACTION INDUSTRIES / Ed. Roberto C. Villas Bôas. Rio de Janeiro: CNPq/CYTED, ISBN 85-7227-164-3, 2002, 524p.: il

INDICATORS OF SUSTAINABILITY: FOR THE MINERAL EXTRACTION INDUSTRIES / Ed. Roberto C. Villas Bôas. Rio de Janeiro: CNPq/CYTED, ISBN 85-7227-164-3, 2002, 524p.: il

PATRIMONIO GEOLÓGICO – MINERO EN EL CONTEXTO DEL CIERRE DE MINAS / Eds. Roberto C. Villas-Bôas, Arsenio González Martínez, Gildo de A. Sá C. De Albuquerque - Rio de Janeiro: CNPq/CYTED, ISBN 85-7227-168-6, 2002, 318p.: il

PEQUEÑA MINERÍA Y MINERÍA ARTESANAL EN IBEROAMÉRICA • CONFLICTOS • ORDENAMIENTO • SOLUCIONES / Eds. Roberto C. Villas-Bôas; Ana María Aranibar - Rio de Janeiro: CETEM/CYTED/CONACYT, ISBN 85-7227-185-6, 2003, 306p.: il

GOLD POTENTIAL MAPS FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF CAMBODIA AND LATIN AMERICA, AIST02-C00024, Editors: Satochi Muraio, Eduardo Cjapparro Avilla, Roberto C. Villas Bôas, Toshihiko Waza

IBEROEKA EN MÁRMOLES Y GRANITOS: mini-foro realizado em Salvador, Bahia, 3-6 abril/2003 / Roberto C. Villas-Bôas; Benjamin Calvo; Carlos César Peiter, eds. - Rio de Janeiro: CETEM/CYTED/CNPq, 230p., il., ISBN 85-7227-195-3, CDD 553

APELL PARA MINERIA GUÍA PARA LA INDUSTRIA MINERA A FIN DE PROMOVER LA CONCIENCIACIÓN Y PREPARACIÓN PARA EMERGENCIAS A NIVEL LOCAL - Rio de Janeiro: CETEM/CYTED/CNPq, 2004, 122p.: il, ISBN 85-7227-197-X, CDD 338-1

PROBLEMAS EMERGENCIALES Y SOLUCIONES APELL - Santa Cruz de la Sierra, Bolivia – 5-9 de julio de 2004/ Roberto C. Villas-Bôas; Cristina Echavarría, Jorge Ellis, Diego Masera eds. - Rio de Janeiro: CETEM/CYTED-XIII/MPRI/IDRC/AECI/UNESCO, 2004, 356p.: il, ISBN 85-7227-200-3, CDD 338.1