

COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

# ANTÁRTICA



9  
VOLUME

**PRESIDENTE DA REPÚBLICA**

Luís Inácio Lula da Silva

**MINISTRO DA EDUCAÇÃO**

Fernando Haddad

**MINISTRA DO MEIO AMBIENTE**

Maria Osmarina Marina da Silva Vaz de Lima

**MARINHA DO BRASIL**

Roberto de Guimarães Carvalho

**MINISTRO DAS RELAÇÕES EXTERIORES**

Celso Luiz Nunes Amorim

**MINISTRO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

Sérgio Machado Rezende

The background of the cover is a high-angle, aerial photograph of a vast, snow-covered mountain range. In the center, a small town or village is nestled in a valley, surrounded by snow-covered fields and buildings. The mountains in the background are rugged and partially covered in snow, with some peaks appearing more prominent. The overall scene is serene and wintry, with a soft, diffused light that gives the image a slightly hazy or ethereal quality. The text is overlaid on this background in a clean, black, sans-serif font.

COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

VOLUME 9

ANTÁRTICA

ENSINO FUNDAMENTAL E ENSINO MÉDIO

## COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

Vol. 1 – Matemática

Vol. 2 – Matemática

Vol. 3 – Matemática

Vol. 4 – Química

Vol. 5 – Química

Vol. 6 – Biologia

Vol. 7 – Física

Vol. 8 – Geografia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Centro de Informação e Biblioteca em Educação (CIBEC)

---

Antártica : ensino fundamental e ensino médio / coordenação Maria Cordélia S. Machado, Tânia Brito. – Brasília : Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006.

172 p. : il. (Coleção explorando o ensino ; v. 9)

1. Antártica. 2. Ensino fundamental. 3. Ensino médio. I. Machado, Maria Cordélia S. II. Brito, Tânia. III. Brasil. Secretaria de Educação Básica.

CDU: 908(99)

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE  
SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE  
E FLORESTAS

## ANTÁRTICA

ENSINO FUNDAMENTAL E ENSINO MÉDIO

Brasília  
2006

**SECRETÁRIO DE EDUCAÇÃO BÁSICA – MEC**

Francisco das Chagas Fernandes

**SECRETÁRIO DA COMISSÃO INTERMINISTERIAL PARA OS RECURSOS DO MAR**

José Eduardo Borges de Souza

**SECRETÁRIO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS – MMA**

João Paulo Ribeiro Capobianco

**PRESIDENTE DO CONSELHO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (CNPq)**

Erney Felício Plessmann de Camargo

**PRESIDENTE DO FUNDO NACIONAL DA EDUCAÇÃO – FNDE**

Daniel da Silva Balaban

**DIRETORA DO DEPARTAMENTO DE POLÍTICAS DE ENSINO MÉDIO – SEB/MEC**

Lucia Helena Lodi

**DIVISÃO DO MAR DA ANTÁRTICA E DO ESPAÇO – MRE**

Maria Teresa Mesquita Pessoa

**DIRETORA DO PROGRAMA NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS – DAP  
RESPONSÁVEL PELO PROGRAMA ANTÁRTICO BRASILEIRO/MMA**

Tânia A. da Silva Brito

**DIRETOR DE PROGRAMAS ESPECIAIS – FNDE/MEC**

Leopoldo Jorge Alves Junior

**ASSESSORIA PARA ASSUNTOS INTERNACIONAIS – MEC**

Alessandro Warley Candeas

**EQUIPE TÉCNICA SEB/MEC**

Lunalva da Conceição Gomes

Maria Marismene Gonzaga

Mirna Franca da Silva Araújo

**COLABORADORES**

Adalto Bianchini

Carlos Garcia

Carmen Arroio

Cristina Engel de Alvarez

Delano Gobbi

Denise Tenenbaum

Edith Fanta

Edson Rodrigues

Eduardo Secchi

Emília Correia

Erli Schneider Costa

Francisco Aquino

Helena Gonçalves Kawall

Helena Passeri Lavrado

Hisao Takahashi

Jair Putzke

Jefferson Simões

José Eduardo Borges de Souza

Lucélia Donatti

Lúcia Siqueira Campos

Manuela Bassoi

Maria Cordélia Machado

Maurício Mata

Mônica Muelbert

Mônica Petti

Neusa Leme

Paulo Eduardo Ribeiro

Phan Van Ngan

Tânia Brito

Tatiana Neves

Thaís Corbisier

Vicente Gomes

Virginia Maria T. Garcia

Vivian Pellizari

**COORDENAÇÃO**

Maria Cordélia Machado

Tânia Brito

**REVISÃO**

Joíra Furquim

Suely Touguinha

**CAPA, PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO**

Erika Ayumi Yoda Nakasu

Tiragem 1.000 mil exemplares

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA**  
Esplanada dos Ministérios, Bloco L, sala 500  
CEP: 70047-900 Brasília-DF  
Tel. (61) 2104-8177 / 2104-8010  
<http://www.mec.gov.br>

**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE  
SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS**  
Esplanada dos Ministérios, Bloco B,  
sala 700 CEP: 70068-900 Brasília-DF  
Tel. (61) 4009-1434 / 4009-1115  
<http://www.mma.gov.br>

**MINISTÉRIO DA DEFESA  
COMANDO DA MARINHA  
SECRETARIA DA COMISSÃO INTERMINISTERIAL PARA OS RECURSOS DO MAR**  
Esplanada dos Ministérios,  
Bloco O CEP: 70047-900, Brasília-DF  
Tel. (61) 2104-8177 / 2104-8010  
<http://www.mar.mil.br>

**MINISTÉRIO DAS  
RELAÇÕES EXTERIORES**  
Palácio Itamaraty – Esplanada dos Ministérios  
Bloco H CEP: 70170-900, Brasília-DF  
<http://www.mre.gov.br>

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA  
CONSELHO NACIONAL DE  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA (CNPq)**  
Esplanada dos Ministérios, Bloco E CEP:  
70067-900, Brasília-DF Tel. (61)3317-7500  
<http://www.mct.gov.br>

# SUMÁRIO

7	APRESENTAÇÃO
11	INTRODUÇÃO
19	ATMOSFERA
35	CLIMA
47	MANTO DE GELO
55	OCEANO AUSTRAL
67	VIDA NA ANTÁRTICA
93	CUIDADOS COM O MEIO AMBIENTE
113	PRESENÇA HUMANA NA ANTÁRTICA
131	O BRASIL NA ANTÁRTICA
147	TECNOLOGIA ANTÁRTICA
163	REFERÊNCIAS





# APRESENTAÇÃO

A Secretaria de Educação Básica do Ministério da Educação apresenta aos professores do ensino fundamental e médio os volumes 9 e 10 da *Coleção Explorando o Ensino*.

Lançada em 2004, essa coleção tem o objetivo de apoiar o trabalho do professor em sala de aula, oferecendo-lhe material científico-pedagógico que permite aprofundar os conteúdos das áreas de conhecimento e disciplinas da educação básica e ainda sugerir novas formas de abordá-los em sala de aula.

Estes dois volumes tratam dos estudos e das pesquisas relacionadas ao continente Antártico e às sensíveis mudanças climáticas a que está submetido.

A Antártica é um continente dedicado à paz e à ciência. O Programa Antártico Brasileiro realiza pesquisas na região desde o verão de 1982/1983, o que proporcionou ao país a possibilidade de tornar-se membro pleno do Tratado da Antártica, que reúne um grupo seleto de países responsáveis pelo futuro do Continente Branco.

O Programa Antártico Brasileiro é resultado da soma de esforços de diversos órgãos do governo federal, reunidos pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (Cirm). Fazem parte, efetivamente, da Comissão, os Ministérios da Defesa, das Relações Exteriores, do Meio Ambiente, da Ciência e Tecnologia, das Minas e Energia e da Educação.

Ao Ministério da Defesa cabe a responsabilidade pelo apoio logístico à realização da pesquisa científica. É na Marinha do Brasil que está instalada a Secretaria da Comissão Interministerial para Recursos do Mar (Secirm). É também a Marinha a responsável pela manutenção da Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz e do Navio de Apoio Oceanográfico Ary Rongel. A Aeronáutica participa com a disponibilização de aviões Hércules para o transporte de pesquisadores, equipamentos e mantimentos.

O Ministério das Minas e Energia fornece, por meio da Petrobras, todo o combustível utilizado para as travessias e para geração de energia na estação, nos refúgios e nos acampamentos onde são realizadas coletas, investigações, medidas.

O Ministério das Relações Exteriores responde pela interlocução com os demais países membros do Tratado da Antártica.

O Ministério da Ciência e Tecnologia é o responsável pelas diretrizes da pesquisa brasileira realizada no âmbito do Proantar. A execução da pesquisa

é de responsabilidade do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Cabe ao Ministério do Meio Ambiente a avaliação dos impactos ambientais que cada projeto pode causar na região, bem como o permanente monitoramento da Baía do Almirantado – local onde está instalada a estação brasileira. O Ministério da Educação, membro do Proantar desde sua criação, participa do Programa. Sua atuação se dá pela difusão da pesquisa científica e das conquistas brasileiras na Antártica a todo o sistema educacional brasileiro e também ao estímulo à criação de novos grupos de pesquisa, por meio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (Capes). A difusão tem sido feita por meio de programas da TV Escola, transmitidos a toda a rede pública de educação básica, e pela publicação de material paradidático voltado para professores do ensino médio ou para as bibliotecas das escolas públicas, como é o caso desta publicação. Esperamos que ela contribua para estimular nossos jovens estudantes a desenvolver potenciais talentos no sentido da contribuição à pesquisa científica.

A questão ambiental é a grande preocupação de nosso século. Os efeitos da ação humana sobre o planeta tornam-se, a cada dia, mais evidentes e de reversão mais improvável. Acreditamos que apenas a tomada de consciência – que só se dá pela Educação – seja a chave para mudanças reais de paradigmas.

Por isso, juntos, realizamos esta publicação, numa associação de esforços ambientais e educacionais, para mostrar os primeiros resultados de uma pesquisa de ponta que está sendo realizada por brasileiros na Antártica, e buscar, dessa forma, esclarecer a comunidade escolar sobre as mudanças ambientais globais e seus efeitos. Nossa expectativa também é a de estimular, no jovem brasileiro, a paixão pela pesquisa científica – fundamental para que nosso país contribua, efetivamente, para a preservação ambiental do planeta e para que nosso povo alcance a qualidade de vida que merece.

# INTRODUÇÃO





# INTRODUÇÃO

## ANTÁRTICA – O CONTINENTE DOS EXTREMOS

A Antártica, o espaço e os fundos oceânicos constituem as últimas grandes fronteiras ainda a ser conquistadas pelo homem. O continente antártico é o continente dos superlativos. É o mais frio, mais seco, mais alto, mais ventoso, mais remoto, mais desconhecido e o mais preservado de todos os continentes.

Quinto continente em extensão, é o único sem divisão geopolítica. O continente antártico e as ilhas que o cercam perfazem uma área aproximada de 14 milhões km<sup>2</sup>, 1,6 vezes a área do Brasil – cerca de 10% da superfície da Terra. Centrado no Pólo Sul Geográfico, é inteiramente circundado pelo Oceano Antártico ou Austral, cuja área, de cerca de 36 milhões de km<sup>2</sup>, representa aproximadamente 10% de todos os oceanos. Combinadas, áreas marinha e terrestre nos dão a dimensão da grandiosidade e da vastidão do continente antártico, que indubitavelmente constitui parte vital de nosso planeta. É a maior área selvagem natural que resta no planeta.

Tão seca quanto o deserto do Saara, com ventos intensos que chegam a 327 km/h, a Antártica é três vezes mais alta que qualquer outro continente, com uma altitude média de 2,3 mil metros. Embora coberta por gelo, é formada por rochas e tem uma margem continental constituída de sedimentos. Essas rochas e sedimentos são detentores de incalculáveis recursos minerais e energéticos, incluindo petróleo e gás.

Tendo uma temperatura média de -60°C e a mais baixa temperatura já registrada, de -89,2°C, a Antártica é o mais frio dos continentes, o refrigerador do mundo. Noventa e oito por cento de sua superfície estão permanentemente recobertos por um manto de gelo, que atinge quase cinco quilômetros de espessura e um volume de 25 milhões de km<sup>3</sup>. Está ainda rodeada por uma camada de mar congelado, cuja superfície varia de 2,7 milhões de km<sup>2</sup>, no verão, a 22 milhões de km<sup>2</sup>, no inverno. Cerca de 90% do gelo e de 70% a 80% da água doce do planeta estão armazenados na calota de gelo da Antártica.

As formas de vida existentes na Antártica evoluíram sob as condições extremas de frio, vento, gelo e neve. O isolamento desse continente pelas massas de água e as condições especiais condicionaram o estabelecimento de espécies que só aí ocorrem. A vida na terra está restrita a uma estreita faixa, próxima ao mar, que permanece livre de gelo durante o verão, e se

restringe a pequenos invertebrados, microorganismos, e uma flora abundante de líquens e musgos, além de fungos, algas e poucas gramíneas. Também são visitas freqüentes em terra, para reproduzir e descansar, as focas e as aves marinhas. Em contraste com as áreas emersas da Antártica, as comunidades marinhas são ricas e diversas. É no mar que, de fato, encontra-se a vida na Antártica.

Por seus valores naturais e agrestes, praticamente intocados pelo homem, que por si só constituem um preciosíssimo patrimônio de toda a humanidade, que cabe preservar, a Antártica foi designada como reserva natural, consagrada à paz e à ciência.

## REGULADOR TÉRMICO DO PLANETA

O vasto manto de gelo antártico é o principal sorvedouro do calor terrestre e tem um papel essencial no sistema climático global. Controla as circulações atmosférica e oceânica no Hemisfério Sul e a formação de água fria de fundo dos oceanos.

O clima no Hemisfério Sul é essencialmente gerado e controlado por massas de ar frio provenientes do continente gelado. A coleta de dados meteorológicos antárticos permite a realização de previsões meteorológicas mais confiáveis e com maior antecedência. Além do que, as variações climáticas no Brasil, com vital consequência para a agricultura e para os estoques de água em represas hidroelétricas, só serão adequadamente entendidas e previstas se os modelos de circulação geral da atmosfera integrarem a América do Sul, a Antártica e os oceanos adjacentes.

O Oceano Austral é o principal meio pelo qual ocorrem as trocas de energia, calor e massa entre as três bacias oceânicas – Oceanos Atlântico, Índico e Pacífico. Essas trocas podem representar papel significativo no controle do clima mundial. Compreender, por exemplo, como o transporte de massas d'água funciona globalmente e sua influência na oxigenação do oceano e na temperatura do planeta implica compreender processos oceânicos na Antártica. A variabilidade no Oceano Austral tem profunda influência na distribuição de temperatura e chuva do continente antártico e do sul-americano. Massas d'água formadas na Antártica se deslocam, ventilando outros oceanos e influenciando o clima e a riqueza das águas costeiras que banham os continentes. Os estoques pesqueiros na Região Sul do Brasil são fortemente influenciados pelas características hidrológicas específicas do Oceano Austral. O Oceano Austral tem também um papel importante na troca de CO<sub>2</sub>, um dos principais gases do efeito estufa, entre a água do mar e a atmosfera.

## TERMÔMETRO DA SAÚDE DO PLANETA

A Antártica é a região do planeta mais sensível às mudanças globais. É lá que percebemos primeiro as alterações que o planeta vem sofrendo. O impacto global causado pelo mundo industrial pode ter efeitos deletérios no ambiente antártico. O aumento da concentração de gases do efeito estufa e o conseqüente aquecimento global têm contribuído para a fragmentação de grandes porções de gelo, causando a perda de *habitats* para animais que dependem dessas plataformas de gelo. O aumento da radiação UV-B, devido à destruição da camada de ozônio, pode diminuir o crescimento de fitoplâncton, afetando, assim, toda cadeia alimentar. As conseqüências sentidas na Antártica podem, em retorno, trazer sérias conseqüências ambientais para o resto do planeta, a exemplo do aumento do nível do mar.

A primeira evidência de que a atividade humana está alterando as condições de vida na Terra foi a descoberta do buraco de ozônio, na Antártica, em 1985. Essa descoberta alertou o mundo para as mudanças potencialmente perigosas no ambiente causadas pelas atividades humanas. Isso, em compensação, levou ao desenvolvimento das primeiras medidas para o controle da poluição em escala global.

Estudos têm demonstrado que variações na precipitação antártica estão relacionadas aos episódios do El Niño e de La Niña. Assim, oscilações climáticas observadas no Brasil podem ser já uma resposta às mudanças climáticas detectadas adiantadamente na região antártica. Compreender como funciona a Antártica ajuda-nos a compreender como funciona o planeta e permite-nos acompanhar as alterações que ele vem sofrendo.

Com quase cinquenta anos de pesquisa realizada na região Antártica, por diversas nações, muitas são as comprovações da influência da Antártica nos sistemas naturais do planeta. Assim, cresceu também a consciência de que mais importante que as riquezas minerais ou energéticas lá existentes é entender como esse ecossistema rico, porém frágil, influencia as demais condições de preservação das fontes de vida do planeta.

## LABORATÓRIO ÚNICO

Por ser um laboratório natural único, o maior laboratório vivo do planeta, a Antártica tem importância científica incontestável e o conhecimento de suas características e dos fenômenos naturais lá ocorrentes pode esclarecer questões de importância regional, como a viabilidade de exploração econômica sustentável dos recursos vivos marinhos ou de relevância global, a exemplo das mudanças climáticas, já que é um dos principais controladores

do sistema climático global. Ali, os cientistas do planeta podem medir os efeitos das mudanças climáticas no ambiente global, e tentar entender as implicações futuras.

A evolução do impacto ambiental natural ou provocado pelo homem está registrada no manto de gelo polar. Esse é o melhor arquivo da história climática e da química atmosférica. Pesquisas em testemunhos de gelo antártico permitiram reconstruir variações no teor dos gases do efeito estufa e da temperatura atmosférica ao longo dos últimos 410 mil anos, dando indicações sobre eventos de desertificação e explosões vulcânicas. Essas investigações possibilitam melhor conhecimento de oscilações ambientais de periodicidade mais curta (e.g., El Niño e La Niña), que podem ser mais diretamente relacionadas a variações na composição atmosférica da América do Sul, em especial da região amazônica.

O ambiente antártico, por ser afastado das fontes de poluição antropogênica, é ideal para a análise da circulação e do transporte global de componentes químicos e particulados gerados pelas atividades industriais que ocorrem nos continentes de latitudes mais baixas. Esses dados podem ser usados em modelos climáticos e de circulação atmosférica global.

A atmosfera antártica, excepcionalmente limpa, a posição polar do continente e a configuração do campo magnético da Terra, propiciam condições ideais para estudos atmosféricos e do geoespaço. O estudo da ionosfera terrestre é importante para o conhecimento dos processos naturais do planeta e são essenciais para engenharia de telecomunicações e navegação.

Atividades industriais, queimadas, desmatamento, agricultura e outras ações antrópicas têm causado a introdução artificial de gases na atmosfera, aumentando suas concentrações em escala global, intensificando, assim, o chamado efeito estufa. Gases de origem unicamente artificial, como a maioria dos clorofluorcarbonetos (CFCs), introduzidos na atmosfera, contribuem não só para a destruição da camada de ozônio, como também na intensificação do efeito estufa. O estudo da concentração desses gases em regiões como a Antártica tem particular relevância, uma vez que esse continente não é fonte, nem sumidouro importante desses gases (exceto os CFCs), fornecendo valores de referência para comparação com medições efetuadas em outras regiões.

Organismos antárticos interagem com o Brasil em suas rotas migratórias, seja para se alimentar, seja quando entram em contato com poluentes de várias naturezas ou quando capturados acidentalmente durante a pesca em nossas costas. Algumas espécies de baleias só se reproduzem na costa brasileira e se alimentam nas águas antárticas. O conhecimento da biologia



desses animais é fundamental para a sua preservação. A evolução da biota antártica sob as condições climáticas extremamente rigorosas da região resultou em adaptações bioquímicas notáveis, cuja investigação poderá levar a descobertas farmacológicas e genéticas de interesse médico. O conhecimento da estrutura e da dinâmica dos ecossistemas marinhos e terrestres contribui para a caracterização do ambiente antártico e de sua fragilidade, fornecendo importantes subsídios para a avaliação dos efeitos das mudanças climáticas globais sobre o ecossistema antártico.

Três questões são freqüentemente colocadas quando o assunto é Antártica:

### ANTÁRTICA X ANTÁRTIDA

Há quase 400 anos antes de Cristo já se imaginava a *Terra Australis Incognita*. Aristóteles, que acreditava na esfericidade da Terra, achava que a natureza era simétrica. Então, se existia uma zona fria ao Norte do Planeta, devia existir uma massa de terra, também fria, ao Sul, para contrabalançar a massa de terra ao Norte. Ártico ou *arktos* quer dizer urso ou faz referência à constelação da grande urso, que aponta para o Pólo Norte. Então, o que apontaria para o Sul devia ser a anti-ártico, ou a Antártica.

Apesar de os que trabalham com o tema preferirem a denominação “Antártica”, as duas formas estão corretas.

### ÁRTICO X ANTÁRTICA

Ao contrário do Ártico, que é só uma calota de gelo, cercada por massas de terra, por todos os lados, a Antártica, ou anti-ártico, é uma grande massa de terra cercada de águas por todos os lados.

Características do Ártico que o diferenciam da Antártica:

- é só uma calota de gelo;
- não tem massa de terra, é cercado por grandes massas de terra, continentes, que influenciam seu clima, mantendo-o mais aquecido;
- é menos frio;
- tem poucos metros de espessura;
- é mais acessível à fauna vágil. Apresenta muitas espécies de mamíferos terrestres. Um urso polar não poderia escapar e sobreviver ao frio e à falta de alimento do inverno antártico. Teria de nadar, pelo menos, 750 km para chegar a terra firme no inverno;
- tem muito mais aves migrantes;
- tem mais espécies de plantas (40 que florescem);
- tem população humana permanente (*Eskimos* ou *Inuit*) que lá vive há três mil anos.

## FRIO NA ANTÁRTICA

A Antártica é fria devido a sua posição na Terra. Os pólos recebem pouca radiação, o que faz com que a Antártica tenha longos invernos de completa escuridão e verões claros o tempo todo. O que se absorve de radiação nos seis meses de verão não é suficiente para suprir o que se perdeu nos seis meses de inverno. A maior parte da luz é refletida (85%) e pouco calor é absorvido, por causa do gelo, que só não cobre 2% do território, no verão. Além de fatores como isolamento pelas massas d'água e altitude.



# ATMOSFERA





# ATMOSFERA

A atmosfera da Terra sofreu inúmeras modificações e adaptações sucessivas ao longo de sua existência, mas foi há 2 bilhões de anos, quando surgiu o primeiro organismo capaz de usar a luz solar no processo de fotossíntese, liberando oxigênio para a atmosfera, que essa mudou drasticamente. Com o oxigênio livre, apareceu o ozônio, formando uma camada protetora das radiações nocivas, que permitiu a existência de seres vivos na superfície do nosso planeta. A composição química da atmosfera é igual em torno da Terra, variando a distribuição e a concentração dos gases em função da latitude e da temperatura.

A Antártica possui atmosfera muito especial, com características peculiares. O continente antártico é um dos lugares da Terra onde a atmosfera é fonte constante de magníficos espetáculos de cores e luzes. A temperatura fria, a baixa umidade, a intensidade dos ventos e a proximidade dos pólos magnéticos e geográficos contribuem para a ocorrência de fenômenos raramente vistos em outras latitudes. Lá, as alterações ambientais são respondidas de forma rápida e intensa e podem servir como um indicador de alerta sobre alterações que ocorrem, seja de origem natural, seja antropogênica. Um exemplo atual é a presença do buraco de ozônio sobre a região Antártica, uma resposta da atmosfera em função da presença dos gases poluidores produzidos pela sociedade moderna, provocando o aumento da radiação ultravioleta nociva aos seres vivos.

## O SOL

Para entender por que essa atmosfera é tão especial, vamos começar pela fonte principal de energia: o Sol.

O Sol é a estrela mais próxima da Terra e é considerada de tamanho médio. É uma bola de gás incandescente, composta principalmente por hidrogênio e hélio, cuja energia é gerada em seu núcleo, e sua luz aquece e torna a vida possível na Terra. Apresenta muita energia concentrada em regiões denominadas manchas e às vezes essas explodem (explosão solar), liberando muita radiação e partículas carregadas (prótons, elétrons), que são lançadas ao espaço e podem vir em direção a Terra (vento solar).

As manchas são estruturas escuras presentes na superfície do Sol (fotosfera), e podem ser vistas a olho nu, sendo importante o uso de filtro (filme velado, por exemplo), para proteger os olhos de possíveis queimaduras. São escuras porque são regiões mais frias do que o material a sua volta, com campos magnéticos fortes que não deixam o calor gerado no interior solar chegar à superfície, onde elas se encontram. O número de manchas

é variável e é máximo a cada 11 anos. O ciclo de 11 anos do número das manchas é denominado de ciclo de atividade solar, pois é nas manchas que ocorrem os fenômenos violentos: (a) as explosões que são vistas como aumento da emissão de radiação em toda a faixa do espectro eletromagnético, (b) a expulsão de grandes quantidades de material da atmosfera solar (EMCs), associada ou não a ocorrência das explosões, (c) a saída de uma corrente de baixa densidade de partículas carregadas que atravessa o sistema solar, chamada de vento solar.

Todos os fenômenos solares perturbam o meio interplanetário, mas o vento solar é o responsável pela formação da magnetosfera terrestre, a região ao redor da Terra controlada pelo campo magnético. O vento solar deforma o dipolo magnético da Terra comprimindo-o na parte de frente para o Sol e formando uma cauda na parte de trás da Terra.

A Terra tem como escudo protetor o campo magnético que bloqueia essa grande quantidade de partículas carregadas que vem da explosão solar, mas nos pólos não existe essa proteção e as partículas entram diretamente na atmosfera, produzindo grandes modificações químicas nos gases. Essa interação produz fenômenos luminosos que podem ser observados a olho nu, conhecidos como auroras.

Os fenômenos solares, devido a suas perturbações na Terra, podem causar grandes transtornos ao homem, entre os quais podemos citar: (a) problemas nos satélites, podendo reduzir seu tempo de vida no espaço e danificar seus circuitos eletrônicos, (b) cortes nas transmissões rádio e TV via satélite, (c) cortes nas redes de transmissão de energia elétrica e (d) riscos à saúde das tripulações de naves e estações espaciais.

## ATMOSFERA

A energia total que sai do Sol é chamada de radiação eletromagnética e é dividida por faixas de energia, por exemplo, radiação ultravioleta, raios-X, radiação visível, infravermelho. Cada energia interage de forma diferente com a atmosfera.

A atmosfera da Terra é uma camada formada por uma mistura de gases que protege todos os seres vivos das radiações e partículas perigosas que vêm do Sol e do espaço. É composta de nitrogênio (78%), de oxigênio (21%), e de outros gases (1%). São três as radiações principais que chegam ao solo: a radiação visível, a radiação infravermelha e a ultravioleta do tipo A.

Sua composição química básica é igual em torno da Terra, variando a distribuição e a concentração dos gases em função da latitude e da temperatura. É convencional dividir a atmosfera em camadas, podendo classificá-la pela

química, pela concentração de elétrons e pelo perfil vertical da temperatura. Pode-se, ainda, denominar as camadas pela temperatura: *troposfera*, *estratosfera*, *mesosfera* e *termosfera*, que são separadas pelos limites: *tropopausa*, *estratopausa* e *mesopausa*.

A *troposfera* é a camada mais baixa da atmosfera estendendo-se do solo até uma altitude de 10–16 km (*tropopausa*), variando com a latitude. Nos pólos atinge até 10 km e nas regiões equatoriais chega aos 16 km – a principal fonte de calor é a radiação solar absorvida e irradiada pela superfície, o que resulta em um perfil de temperatura decrescente com a altura, à razão de 6,5°C para cada quilômetro de altitude. É a camada onde ocorrem os fenômenos meteorológicos, como as nuvens, as chuvas e a neve. É também a região onde as aeronaves comerciais voam.

A *estratosfera* é caracterizada por um perfil de temperatura crescente até atingir um valor máximo (*estratopausa*) em torno de 50 km – esse limite de temperatura é o resultado da liberação de calor pela absorção da radiação ultravioleta do tipo B (205 nm) pelo ozônio. Nessa região voam os jatos supersônicos, militares e os balões de pesquisa. Acima da *estratopausa*, tem-se a *mesosfera*, apresentando um perfil de temperatura que decresce novamente, atingindo um valor mínimo (*mesopausa*) em torno de 90 km – tal comportamento é devido às emissões térmicas na faixa do infravermelho e aos processos de turbulências locais. Essa é a região onde observamos os meteoros (partículas de poeira vindas do espaço e que são queimadas pela atmosfera, produzindo efeito luminoso), são conhecidos popularmente como estrelas cadentes.

Acima da *mesopausa*, na *termosfera*, a temperatura cresce rapidamente com a altitude e tem tendência isotérmica, onde, dependendo da atividade solar, as temperaturas podem alcançar de 500° a 2.000°K (Kelvin). A temperatura geralmente é medida em graus Kelvin. Para converter graus Kelvin em graus centígrados, basta subtrair 273.

Junto com essas camadas, existe outra região sobreposta, denominada *ionosfera*, composta por elétrons e íons livres e aparece devido à interação dos átomos e moléculas da atmosfera com o Sol. Essa camada é muito importante para as comunicações e começa em 60 km indo até 500 km de altitude. No que diz respeito aos efeitos iônicos, os processos de foto-ionização são efetivos nas altitudes acima da mesopausa. Dependendo dos mecanismos de produção de ionização e da separação difusiva, distintas *camadas ionosféricas*, D, E e F são formadas nas respectivas faixas de altitude: 60–90 km, 90–160 km, 160–500 km.

As três camadas inferiores são denominadas *homosfera*. Nessas camadas, os constituintes majoritários Nitrogênio ( $N_2$ ) e Oxigênio ( $O_2$ ) perfazem, respectivamente, quase 80% e 20% da densidade total do ar, produzindo como conseqüência uma atmosfera homogênea, ou seja, com peso molecular aproximadamente constante com a altitude. Na termosfera, devido à eficiência da foto-dissociação nos gases  $N_2$  e  $O_2$ , cresce a proporção do oxigênio atômico (O), diminuindo a abundância de  $N_2$  e  $O_2$ . A gravidade puxa as moléculas de oxigênio e nitrogênio, devido ao peso molecular, para a superfície da Terra e a maior parte do ar é encontrada dentro da troposfera (99% está abaixo de 32 km altitude). Essa configuração vale para toda a atmosfera, estando essas camadas, na Antártica, em altitudes mais baixas do que as latitudes mais próximas ao equador.

## CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA

O padrão global dos movimentos do ar atmosférico (circulação geral) é basicamente gerado pelas diferenças latitudinais do balanço entre o conteúdo da radiação solar (aquecimento) e das emissões radiativas de certos gases no espectro do infravermelho (resfriamento). Na baixa atmosfera (0–20 km), a região equatorial recebe a maior parcela da energia solar incidente, causando uma distribuição de temperatura dependente da latitude, com máximo sobre o Equador e mínimo nos pólos geográficos. Por sua vez, os ventos médios comportam-se como correntes de ar movendo-se rapidamente (jatos) em direção ao leste, com máximo em aproximadamente 10 km de altitude, em regiões de latitude médias.

Entre 20 km e 70 km, a temperatura exibe uma distribuição assimétrica sobre o Equador, com máximo no hemisfério de verão e mínimo no hemisfério de inverno, tendo em vista a maior absorção da radiação solar pelo ozônio estratosférico no hemisfério de verão. Nessas altitudes, os ventos predominantes dirigem-se ao oeste no hemisfério de verão, e a leste no hemisfério de inverno.

Embora a circulação geral seja severamente dependente do aquecimento solar, as observações de ventos e temperatura próximas à mesopausa indicam um comportamento reverso ao que se poderia esperar das condições impostas pelo balanço radiativo atmosférico. Ou seja, a distribuição de temperatura acima de 70 km mostra um máximo no hemisfério de inverno e um mínimo no hemisfério de verão. Já os ventos médios tornam-se fracos entre 80 e 90 km, mudando de direção acima desse nível. Estudos teóricos e observacionais revelam que outros processos dinâmicos, especialmente as ondas atmosféricas que se propagam a partir da baixa atmosfera, influenciam na reversão da circulação geral da mesosfera superior.



## ONDAS ATMOSFÉRICAS

As ondas atmosféricas são fenômenos responsáveis pela transferência de energia para a atmosfera. O processo físico pode ser caracterizado como uma comunicação entre diferentes regiões atmosféricas, pois permite que uma parcela de energia adicional em certa área seja transferida para outra área; por exemplo, energia da estratosfera à mesosfera ou energia do Equador em direção às altas latitudes.

A atmosfera ostenta uma rica diversidade de movimentos ondulatórios, em diferentes escalas espaciais e temporais. Creditam-se às ondas atmosféricas importantes fenômenos relacionados ao comportamento climático do planeta Terra, por exemplo, as assimetrias nos ventos ciclônicos estratosféricos dos pólos terrestres (vórtice polar), a oscilação quase-bianual nos ventos da estratosfera tropical (QBO), a mistura das massas do ar polar com as massas do ar em latitudes médias, entre outros.

O movimento ondulatório pode ser categorizado de acordo com o seu mecanismo de restauração (força que sempre atua em sentido oposto ao deslocamento da parcela de ar, permitindo o surgimento de um movimento oscilatório). As ondas de gravidade, que são tipos de ondas com escala horizontal relativamente pequena, têm a força de gravidade como mecanismo de restauração, em uma região da atmosfera termicamente estável. Elas são geradas notavelmente em altitudes próximas à superfície do planeta (troposfera), e suas fontes principais são: a interação do sistema de ventos predominantes com a topografia da superfície, perturbações meteorológicas, como frentes frias e convecção por nuvens tipo cúmulos-nimbos, e instabilidades dos ventos. Já as ondas de *marés atmosféricas* e *ondas planetárias* apresentam uma estrutura horizontal bem maior, e a diferença latitudinal da força de Coriolis é o mecanismo de restauração principal.

A força da gravidade também é um importante mecanismo de restauração para as marés que se propagam verticalmente. As marés atmosféricas são oscilações diárias excitadas pelas variações diurnas do aquecimento do ar devido à absorção solar da radiação ultravioleta pelos constituintes atmosféricos ozônio e vapor de água. As ondas planetárias, ao contrário, não possuem fontes periódicas específicas, não sendo necessariamente conectadas à posição do Sol. Os efeitos geográficos (montanhas, cordilheiras) e certos padrões meteorológicos extensos destacam-se como fontes de geração das ondas planetárias.

De maneira geral, as ondas atmosféricas crescem em amplitude à medida que se propagam verticalmente. Enquanto que na baixa atmosfera a amplitude da velocidade dessas ondas é da ordem de poucos cm/s, na mesosfera

superior podem atingir dezenas ou mesmo centenas de m/s, exercendo fortes efeitos em muitos aspectos da dinâmica da média atmosfera.

As ondas atmosféricas também podem dissipar-se em sua evolução na atmosfera. Os processos físicos que atuam são turbulência, viscosidade molecular, condutividade térmica, arraste dos íons e transferência de radiação térmica.

## LUMINESCÊNCIA ATMOSFÉRICA

As observações óticas da alta atmosfera, utilizando equipamentos fixos em superfície, foguetes de sondagem, ou mesmo satélites científicos, têm evidenciado que regiões de altitudes específicas apresentam camadas de gases que emitem radiação em uma ampla faixa do espectro eletromagnético. Por exemplo, as emissões do oxigênio atômico, referidos por linha vermelha e linha verde, produzem intensas camadas nas regiões da termosfera e da mesosfera superior, respectivamente. Dois importantes fenômenos óticos são observados nessas regiões: a *aeroluminescência* [do inglês: *airglow*] e a aurora. O fenômeno ótico denominado *geocorona*, caracterizado por fracas emissões de hidrogênio e hélio, têm origem nos limites mais externos da atmosfera terrestre (*exosfera*).

A *aeroluminescência* pode ser definida como a luz emitida continuamente pela atmosfera de um planeta. Caracteriza-se por ser uma radiação de intensidade relativamente tênue, amorfa, de extensa faixa espectral – do ultravioleta ao infravermelho próximo – e cuja origem resulta das transições radiativas envolvendo átomos e moléculas, excitados diretamente pela absorção solar ou por processos químicos decorrentes, existentes na atmosfera superior. Distingue-se da aurora pelo fato de esta confinar-se em regiões dos pólos magnéticos e apresentar uma ocorrência esporádica. A ocorrência da aeroluminescência pode ser diurna, crepuscular ou noturna.

A *aurora*, por sua vez, é um fenômeno que ocorre na alta atmosfera (mesosfera) das regiões polares e é gerada pela atividade solar que induz uma enorme quantidade de elétrons e prótons de altas energias a precipitar-se na atmosfera. Essas partículas são guiadas na alta atmosfera através das linhas do campo magnético terrestre, e o impacto com as espécies da atmosfera neutra as deixam em estados excitados (níveis de energia diferentes do fundamental) originando brilhantes emissões, vistas facilmente a olho nu. As emissões aurorais são de natureza esporádicas e suas diversas formas, cores e estruturas têm fascinado durante séculos o ser humano. O fenômeno é mais visível normalmente de setembro a outubro e de março a abril. Ocorrem em regiões em torno dos pólos geomagnéticos, entre 90° e 70° de latitude. As auroras polares podem ser classificadas, conforme o hemisfério, em:

- Aurora boreal – ocorre em altas latitudes do Hemisfério Norte
- Aurora austral – ocorre em altas latitudes do Hemisfério Sul

Quando ocorre uma grande explosão solar, as linhas do campo magnético da Terra são comprimidas pelo vento solar, dando origem ao que chamamos de tempestades geomagnéticas. Quantidades elevadas de partículas que se precipitam na alta atmosfera podem originar, também, arcos aurorais vermelhos de larga escala alcançando latitudes menores e interagindo com a atmosfera mais baixa. Existem várias espécies químicas que são excitadas por processos que produzem tanto a aeroluminescência quanto a aurora. A cor observada no céu depende do elemento químico envolvido e da energia da partícula. O verde está relacionado com o oxigênio atômico na alta atmosfera e o vermelho, com o nitrogênio em regiões mais baixas, por exemplo.

As auroras boreais são mais conhecidas porque a latitude norte é mais povoada e o fenômeno é mais conhecido e fotografado. Já na Antártica, o número de pessoas é muito reduzido e as auroras austrais são menos registradas.

Medidas relacionadas ao comportamento das auroras podem proporcionar informações importantes entre a interação das partículas que vem do espaço e as mudanças que produzem na alta atmosfera neutra e ionizada. O nome “aurora” dado ao fenômeno é uma homenagem à deusa romana do amanhecer.

## GASES MINORITÁRIOS

A atmosfera é constituída por inúmeros gases minoritários, em torno de 1%, mas que são de extrema relevância para a vida na Terra, como, por exemplo, o ozônio estratosférico e o gás carbônico. São conhecidos também como gases-traço e a sua variação está associada a atividades antropogênicas e são excelentes indicadores de mudanças globais.

## CAMADA DE OZÔNIO

Um dos gases minoritários mais importantes é o ozônio, seu símbolo químico é o  $O_3$ , constituído por 3 átomos de oxigênio. Ele é encontrado em toda a atmosfera, mas é na região entre 20 e 35 km de altitude que está a sua maior concentração, cerca de 90% do total de ozônio. Esta região é denominada de *camada de ozônio*. O ozônio representa apenas  $5 \times 10^{-4}$  % da concentração total da atmosfera.

Na região de maior concentração, em torno de 28 km de altura, existem apenas 5 moléculas de ozônio para cada milhão de moléculas de oxigênio. Se trouxermos toda a camada de ozônio para a superfície da Terra em uma

temperatura de zero graus centígrados, ele terá 3 mm de espessura. Sua importância está no fato de que é o único gás que filtra a radiação ultravioleta, do tipo-B, que é nociva aos seres vivos. É na região da camada de ozônio que 90% da radiação ultravioleta do tipo B é absorvida.

A camada de ozônio na estratosfera apresenta-se como uma camada muito fina nos trópicos (ao redor do Equador) e mais densa nos pólos. A concentração do ozônio um ponto acima da superfície da Terra é medida em unidades Dobson (UD), apresentando um valor típico de 260 UD, próximo ao Equador, e valores maiores, entre 290 a 310 UD, em outras regiões, apresentando uma grande variação sazonal.

O ozônio tem funções diferentes na atmosfera, em função da altitude que se encontra.

### O OZÔNIO “BOM”

Na estratosfera, o ozônio é criado quando a radiação ultravioleta, de origem solar, interage com a molécula de oxigênio ( $O_2$ ), quebrando em dois átomos de oxigênio ( $O$ ). Para essa reação ocorrer, a radiação UV deve ter uma faixa de energia específica, onde o comprimento da onda da radiação é menor do que 240 nanômetros. O átomo de oxigênio liberado se une a uma molécula de oxigênio, formando o ozônio e é necessária a presença de um terceiro corpo que ajuda a reação química e que chamamos de catalisador.

### PERDA DO OZÔNIO

O ozônio é um gás muito reativo e interage com muitas substâncias. Do equilíbrio entre a produção e perda resulta a concentração da camada de ozônio na estratosfera. É nessa região que a radiação UV-B é absorvida em aproximadamente 90%.

### O OZÔNIO RUIM

No nível do solo, na troposfera, o ozônio perde a sua função de protetor e se transforma em um gás poluente, responsável pelo aumento da temperatura da superfície, junto com o óxido de carbono ( $CO$ ), o dióxido de carbono ( $CO_2$ ), o metano ( $CH_4$ ) e o óxido nitroso ( $N_2O$ ). Ele representa apenas  $2 \times 10^{-6}$  % do total da atmosfera, mas é um gás muito reagente e participa de outras reações químicas que produzem poluição de superfície. A ausência ou a diminuição do ozônio na troposfera provocaria impactos consideráveis na química da atmosfera. Ele participa da reação do radical  $OH$  e seu desaparecimento provocaria o aumento do metano ( $CH_4$ ) e do monóxido de carbono ( $CO$ ).

## O BURACO DE OZÔNIO NA ANTÁRTICA

A atmosfera antártica tem um fenômeno peculiar que só acontece entre os meses de agosto a novembro e é conhecido como buraco de ozônio. Ele consiste de uma grande destruição das moléculas de ozônio pelos gases CFCs (clorofluorcarbonetos), que são produzidos pelas indústrias, especialmente os usados na refrigeração (geladeiras, ares-condicionados), na fabricação de aerossol e de plásticos. Esses gases permanecem na atmosfera por muitos anos, sobem até a alta atmosfera (estratosfera) e interagem com a radiação ultravioleta, liberando o cloro, que é um grande destruidor do ozônio.

O cloro pode viver até 100 anos e o ozônio, poucos dias, o que implica que um átomo de cloro pode destruir milhares de moléculas de ozônio. Esses gases são levados por ventos da alta atmosfera das regiões de latitudes menores, onde foram produzidos, para os pólos, tanto para o Pólo Sul como para o Pólo Norte, e lá se concentram e ficam armazenados, especialmente no Pólo Sul, onde a circulação atmosférica é mais isolada.

### A REAÇÃO BÁSICA DO CLORO

O cloro, ao ser libertado da molécula do CFC, reage rapidamente com o ozônio, produzindo óxido de cloro e oxigênio molecular. Por outro lado, o monóxido de cloro reage imediatamente com o oxigênio atômico, reciclando o cloro, que poderá assim destruir outra molécula de ozônio. Foi constatado que na Antártica a concentração de monóxido de cloro é cem vezes maior do que em qualquer parte do mundo.

Esse mecanismo de perda é muito eficiente e é causado pela ação do homem moderno. Além do cloro, outros gases, como os óxidos de nitrogênio (NOx), contribuem na química da destruição do ozônio. Eles são produzidos por processos de combustão, como os emitidos por aeronaves.

Essa destruição acontece em torno de toda Terra, mas quando os CFCs chegam até os pólos, onde a alta atmosfera é tão diferente, a destruição se torna drástica. Para ocorrer o buraco de ozônio, são necessárias algumas condições específicas:

- 1) a meteorologia da estratosfera, durante o inverno, deve formar ventos muito fortes, ventos circumpolares, que se desenvolvem na média e na baixa estratosferas. São chamados de vórtice polar e seu efeito é isolar o ar sobre a região. Sem a luz solar, o ar dentro do vórtice se torna muito frio.

- 2) É preciso que sejam formadas nuvens congeladas muito frias, com temperaturas abaixo de  $-80^{\circ}\text{C}$ . São chamadas de nuvens estratosféricas

polares e são formadas por ácido nítrico dissolvidos em partículas de gelo e compostos de cloro. A composição exata dessas nuvens ainda não é conhecida e é objetivo das novas pesquisas científicas.

Esse quadro favorece o acúmulo dos CFCs durante o inverno, e é na Antártica que encontramos freqüentemente essa condição ideal. Eles são transportados da baixa mesosfera e da alta estratosfera para dentro da região do vórtice e se depositam nas nuvens estratosféricas. Quando o Sol aparece novamente na primavera, essas nuvens interagem com a radiação ultravioleta e liberam milhões de átomos de cloro, que destroem rapidamente o ozônio. A produção de ozônio não é suficientemente rápida e a concentração da camada de ozônio cai drasticamente. Esse quadro permanece por alguns meses, de agosto a novembro, para o Pólo Sul. A destruição do ozônio é muito maior no Pólo Sul do que no Pólo Norte. Isso porque a Antártica é muito mais fria, tem uma circulação estratosférica isolada por mais tempo, o que permite que o processo de destruição do ozônio permaneça até o início do verão.

O buraco de ozônio começa em cima dos pólos e vai aumentando de tamanho até alcançar regiões fora da Antártica, como o sul da América do Sul e o sul da Austrália. Ao alcançar regiões mais quentes, a destruição perde a força, pois a circulação atmosférica isolada se quebra e o ar rico em ozônio, das regiões vizinhas, é transferido para a região do buraco, e a camada de ozônio se equilibra.

O primeiro estudo científico alertando sobre o efeito destruidor dos CFCs foi feito em 1974, sendo que, em 1995, os cientistas Paul Crutzen, Mario Molina e Sherry Rowland, ganharam o prêmio Nobel de Química, decorrente dos estudos desenvolvidos sobre a química da camada de ozônio.

O ozônio é medido desde 1956, na base antártica inglesa Halley. As primeiras medidas da redução do ozônio foram detectadas na década de 1970 e pensou-se que os instrumentos estavam descalibrados. Ao ser comparadas com as medidas de satélite, essas não mostraram nenhuma variação. Mais tarde verificou-se que o programa matemático usado para analisar os dados eliminava todas as observações com valores muito baixos e, portanto, as medidas não foram consideradas. Análises posteriores realizadas pelos cientistas do Programa Antártico Britânico (*British Antarctic Survey*) confirmaram que a destruição era grande e rápida sobre todo o continente antártico.

A destruição da camada de ozônio ocorre em toda a Terra, mas em latitudes menores a destruição é menor, cerca de 0,4% por ano e mais lenta. No centro da Antártica a destruição da concentração do ozônio pode alcançar até 80% e, nas regiões vizinhas, 60%, alcançando o sul do continente americano.

É importante observar que o comportamento do buraco de ozônio varia muito de ano para ano. Os processos de destruição ocorrem todos os anos, mas seus efeitos são alterados em função da meteorologia sobre a Antártica. Observa-se que a concentração de ozônio caiu rapidamente a partir de 1980 e atualmente encontra-se variando em torno de um valor mínimo.

A primeira iniciativa global de resolver o problema foi a assinatura do Protocolo de Montreal, em 1987, quando os países participantes do tratado se comprometiam a reduzir pela metade a emissão desses gases destruidores do ozônio até o ano de 2000.

As emissões atualmente estão controladas e os gases CFCs foram substituídos por outros componentes químicos, que não agridem o ozônio e não permanecem por muitos anos na atmosfera. Com base nos modelos teóricos e com a diminuição da emissão dos gases nocivos à camada de ozônio, acredita-se que chegamos atualmente ao patamar máximo de destruição do ozônio e que a tendência, se nada de novo acontecer, é da lenta recuperação da camada até o ano de 2045. A maior consequência da diminuição da camada de ozônio é o aumento da radiação ultravioleta que chega até o solo.

O Brasil vem estudando a camada de ozônio e a radiação ultravioleta na região Antártica desde 1990. Os maiores eventos registrados sobre a Estação Antártica Brasileira foram nos anos de 2003 e 2005, quando a camada de ozônio foi destruída em 60% e a radiação aumentou mais de 350%, apresentando valores comparados ao Brasil.

## O EFEITO ESTUFA E A ANTÁRTICA

Recentes estudos que discutem o tema das mudanças globais na composição química atmosférica e os efeitos no clima planetário têm atraído uma considerável parcela da comunidade científica para o estudo dos gases e dos processos físicos e da dinâmica da atmosfera. Os efeitos crescentes da atividade industrial, principalmente pela emissão de gás carbônico, sobretudo nas últimas décadas, especialmente representados pelo efeito estufa e pela diminuição do ozônio estratosférico, atuam de modo a modificar as condições climáticas ambientais. A emissão dos gases poluentes, que podem ser transportados para regiões da média atmosfera (10-80 km de altitude), difundem-se globalmente através das células de circulação geral atmosféricas.

O efeito estufa é um fenômeno atmosférico que produz aquecimento da temperatura superficial da Terra. Nem toda a energia que chega ao topo da atmosfera atinge a superfície. Na verdade, 31% são refletidos para o espaço, sem ser aproveitados. As nuvens contribuem refletindo 23% da energia incidente. Essa energia refletida para o espaço representa o albedo planetário.

O restante da energia incidente é absorvido pela atmosfera em sua maior parte pela superfície da Terra. A superfície absorve a maioria da radiação solar que chega até o solo, em torno de 51% da radiação recebida, aquecendo-a e devolve para a atmosfera a radiação infravermelha. Da mesma forma que refletem grande quantidade de energia vinda do Sol, as nuvens absorvem enormes porções da energia refletida pela superfície. Por isso, as nuvens são muito importantes, pois funcionam como barreira para a insolação emitida pela terra, impedindo que o planeta esfrie demasiadamente. Ou seja, as nuvens funcionam como controladoras da temperatura da superfície do planeta e qualquer processo que altere a quantidade média das nuvens afetará a nossa vida.

Outro elemento importante é o gás carbônico, que, juntamente com as nuvens, controla a temperatura da terra. Ele absorve a energia emitida pela superfície e junto com outros gases existentes na atmosfera absorve uma parte dessa radiação e reflete a outra parte de volta para a superfície, aumentando a temperatura da superfície e da atmosfera inferior. Esses gases são conhecidos como gases do efeito estufa. Os principais são o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), os CFCs e o ozônio troposférico (ozônio de superfície).

O efeito estufa original é bom para a Terra. As temperaturas cairiam para -18°C se o gás carbônico da atmosfera não absorvesse o calor irradiado pela superfície do planeta, mas a concentração de gás carbônico na atmosfera tem crescido continuamente. Os cientistas acreditam que o aumento desse gás conduzirá

a temperaturas mais altas e a consequência de tais mudanças ainda está sob investigação. Nas três últimas décadas, as emissões antropogênicas de compostos químicos na atmosfera causaram muitos problemas ao meio ambiente e à saúde. Algumas substâncias químicas, como os clorofluorocarbonos (CFCs), são produzidas deliberadamente e terminam na atmosfera por acidente, provenientes de equipamentos ou produtos. Outras, como o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e o monóxido de carbono (CO), são derivados inevitáveis da queima de combustíveis fósseis e da biomassa.





Na Antártica, a concentração desses gases ainda é muito pequena, mas já é possível detectar um aumento em alguns períodos do ano. Na Estação Antártica Brasileira, o ozônio troposférico foi medido e verificou-se que sua origem era do continente sul-americano. Também foram encontradas evidências do transporte de aerossóis provenientes das queimadas no Brasil.





# CLIMA





# CLIMA

A Antártica possui papel importante no balanço de energia do planeta, pois controla a circulação atmosférica nas regiões de latitudes altas e médias do Hemisfério Sul. A Antártica e o Ártico são os dois sorvedouros de energia da Terra, sendo o papel da Antártica mais destacado, devido às suas dimensões continentais, sua elevação e o alto albedo decorrente da sua cobertura de neve e gelo. Sua altitude média de 2.100 m e localização, quase centrada no Pólo Sul, reduzem a temperatura atmosférica na região e reforçam a condição de sorvedouro de energia.

A distribuição da temperatura média anual na Antártica apresenta domínio de baixas temperaturas médias no interior do continente (entre  $-25^{\circ}\text{C}$  e  $-45^{\circ}\text{C}$ ), onde se registram as temperaturas mais baixas do Planeta. Nota-se também que sobre a Antártica oriental ocorrem as menores temperaturas, graças à sua maior elevação, superior a 4.000 m. As médias sazonais da temperatura atmosférica marcam os contrastes no período de verão e inverno. No verão, encontramos temperaturas médias de  $-35^{\circ}\text{C}$  no platô antártico e de  $0^{\circ}\text{C}$  na costa. Já no período de inverno, registram-se, no interior do continente, temperaturas médias em torno de  $-55^{\circ}\text{C}$ , e próximas a  $-20^{\circ}\text{C}$  nas áreas costeiras.

O recorde de temperatura mínima registrada na Terra foi de  $-89,2^{\circ}\text{C}$  em Vostok, estação russa, no dia 23 de julho de 1983. Cabe salientar que provavelmente temperaturas mais baixas devem ocorrer no platô antártico, porém não são registradas devido à escassa rede de estações meteorológicas, decorrente das dificuldades logísticas e financeiras de acesso à Antártica.

A precipitação na Antártica ocorre predominantemente na forma de neve, com exceção das chuvas nos meses de verão, quando as temperaturas chegam a pouco acima de  $0^{\circ}\text{C}$ . A média de precipitação de neve no interior do platô antártico é de aproximadamente 50 mm ao ano, típica de regiões desérticas. O comportamento dessa precipitação é diretamente relacionado com o campo médio de pressão existente no interior da Antártica e na região antártica marítima.

O campo de pressão médio da atmosfera, reduzido ao nível médio do mar, consiste amplo cinturão de centros de baixas pressões, centrados no paralelo  $65^{\circ}\text{S}$ . De forma semipermanente, encontram sempre de quatro a seis, bem destacados. Os mais importantes centros de baixa pressão estão situados, respectivamente, nos mares de Ross, Bellingshausen, Weddell e Davis.

No interior do continente existe um anticiclone permanente, isto é, um centro de alta pressão. Sazonalmente, esse anticiclone varia com as pressões

diminuindo nos meses de verão e aumentando no inverno. Esse anticiclone é responsável pela estabilidade atmosférica no interior da Antártica, implicando escassa precipitação durante o ano e ventos constantes, que, mesmo fracos, sopram sempre do interior para a costa, no sentido anti-horário, pois um anticiclone no Hemisfério Sul possui sempre esse padrão de circulação.

O mar congelado ao redor da Antártica exerce papel importante no clima regional e no clima do Hemisfério Sul. A distribuição do gelo marinho ao redor do continente é controlada pela circulação atmosférica e oceânica, bem como pela distribuição de temperatura.

A Convergência Antártica e a Frente Polar Oceânica são caracterizadas pelos fortes gradientes de temperatura, salinidade e densidade encontrados entre as latitudes 50°S e 65°S. Próximo à Frente Polar Oceânica, as temperaturas superficiais das águas estão entre 3 e 8°C no verão e entre 1°C e 5°C no inverno.

## A PENÍNSULA ANTÁRTICA

A Península Antártica é uma cordilheira com 1.500 m de altitude média e mais de 2.500 km de extensão no sentido norte-sul.

Sob o ponto de vista meteorológico o Estreito de Drake localiza-se na rota de centros de baixa pressão atmosférica, associados em geral a ventos fortes de norte a oeste, precipitação e mau tempo. Centros de alta pressão também migram rotineiramente por essa região e são associados a massas de ar frio do sul, ou quentes do norte, e ventos apenas ocasionalmente fortes. Esses sistemas distintos ocorrem com frequência relativamente alta, até mesmo algumas vezes por semana, propiciando constantes variações do tempo, que podem se tornar dramáticas, com gradientes de pressão intensos e ventos com velocidade superiores a 150 km/h.

As regiões da Península Antártica e da passagem de Drake estão também associadas a outros eventos com efeitos meteorológicos significativos. As “correntes de jato”, situadas à cerca de 8 km de altitude e ventos fortes nessas latitudes, circundam sinuosamente o planeta e passam comumente sobre a Península, afetando diretamente o tempo na superfície.

Nessa região encontra-se também a “Zona de Convergência Antártica” onde águas frias do Oceano Austral, formadas sob as plataformas de gelo do continente antártico, submergem sob as águas mais quentes dos oceanos Atlântico e Pacífico, afetando as condições locais de tempo.

O número de estações meteorológicas, de superfície e de altitude na região, é inferior à desejada. Assim, praticamente inexistem informações das





Mapa da Ilha Rei George, destacando-se a Península Keller, Baía do Almirantado, onde está localizada a EACF

da extremidade meridional da América do Sul e 130 km a nordeste da Península Antártica. Este arquipélago encontra-se entre a passagem de Drake e o estreito de Bransfield, respectivamente.

O regime climático nas ilhas Shetland do Sul é subpolar marítimo em decorrência da passagem de sucessivos Ciclones Extratropicais e frentes, que trazem consigo ar aquecido e úmido, propiciando precipitação em forma de neve e chuva.

Essa é a razão para o alto valor da temperatura atmosférica média anual (-2,8°C), verões apresentando média de temperatura de +0,9°C e invernos com -7°C.

Nessa ilha está localizada a estação brasileira de pesquisas na Antártica, a Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF). Consulte [www.cptec.inpe.br/antartica](http://www.cptec.inpe.br/antartica) para acompanhar as condições meteorológicas e climáticas na região.

A temperatura média anual na EACF é -1,8°C, para o período de 1986 a 2005, quando foram registrados como extremos, +14.9°C (11 de janeiro de 1999) e -28.5°C (5 de agosto de 1991).

Um fenômeno típico da Antártica, principalmente em extensas áreas cobertas de gelo, é a inversão térmica que acontece quando a temperatura da capa de ar junto à superfície é menor do que a da capa de ar imediatamente acima; no inverno, as inversões ocorrem em maior intensidade.

As precipitações ocorrem em pelo menos 70% dos dias do ano na periferia da Antártica podendo ser na forma de neve, água-neve, pelotas de gelo ou chuva. Pancadas de neve/chuva também ocorrem na Ilha Rei George, e na maioria das vezes em pontos isolados, o que dificulta sua previsão. A precipitação de neve é observada sob temperaturas ligeiramente positivas em superfície.

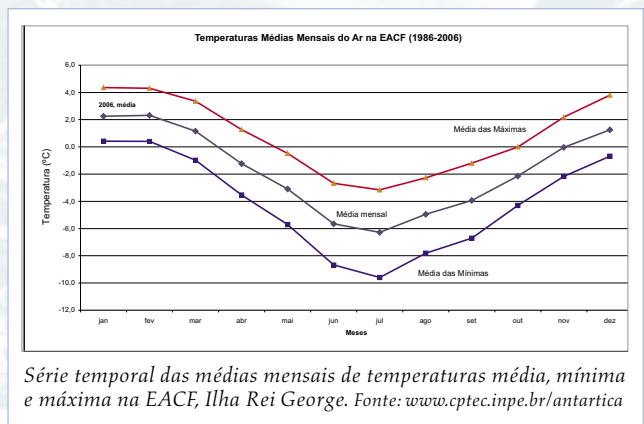
Na ausência de fenômenos óticos restritivos, a visibilidade antártica é a melhor do planeta. Dadas a ausência de impurezas atmosféricas e a grande refletividade da superfície, os objetos tornam-se visíveis a grande distância. Por outro lado, à pequena distância, essa mesma capacidade de reflexão pode ocultar pequenos detalhes, como uma fenda em geleira. Entre os principais limitadores de visibilidade na Antártica marítima está a neve, a chuva, ventiscas e, sobretudo, os nevoeiros de advecção. Por exemplo, quando o ar "tépido" e úmido sopra da passagem de Drake (a noroeste da Península)



e transpõe as geleiras na Ilha Rei George, há um rápido resfriamento, e sua umidade é condensada, trazendo redução da visibilidade. Os ventos associados, do norte, podem atingir até 55 km/h.

Quando os sistemas frontais passam pela região, observa-se uma mudança significativa nos tipos e quantidades de nuvens. Na região da EACF são raros os dias com céu claro. Em média, ocorrem de 1 a 2 dias de céu limpo por mês. Cabe salientar que na Antártica não ocorrem nuvens convectivas do tipo cúmulos-nimbos, que são responsáveis pelas trovoadas acompanhadas de raios e trovões, já que a superfície não é suficientemente aquecida pela insolação.

A interação entre a alta pressão Antártica e as baixas pressões costeiras faz com que a Península seja afetada comumente por ventos médios na superfície entre 40 e 60 km/h durante todo o ano. Para a EACF, pode-se esperar para todos os meses do ano pelo menos um caso de rajada superior a 110 km/h, sendo a máxima registrada de 174 km/h, em junho de 1987. Se tomarmos como referência o evento Catarina, que ocorreu na costa dos estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, em março de 2004, a EACF apresenta cerca de quarenta dias em condições iguais ou piores todos os anos.



## VARIABILIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O clima do Planeta muda naturalmente. Alguns dos fatores de mudança climática operam em escalas de tempo de centenas de milhões de anos, ao passo que outros flutuam em períodos curtos de tempo, de somente alguns anos. Dentre algumas das principais causas naturais, em que, nos processos envolvidos, consideram-se as escalas de tempo e a magnitude da mudança, podemos citar: a) alterações na composição da atmosfera da Terra; b) alterações na topografia, geografia terra-mar e batimetria; c) alterações na luminosidade solar; d) alterações na órbita da Terra; e) atividade vulcânica; f) padrão da circulação atmosférica; g) variabilidade interna do sistema atmosfera-oceano.

A palavra clima, que vem do Grego e foi usada inicialmente por volta do ano 500 a.C., significa inclinação dos raios solares na superfície terrestre. Podemos definir clima como o resultado dos processos de troca de calor e umidade entre a superfície da Terra e a atmosfera, durante certo período de tempo.

Elemento climático é qualquer uma das propriedades ou condições da atmosfera (como a temperatura do ar) que especifique o estado físico do tempo meteorológico (curto prazo), ou clima (longo prazo), num determinado lugar, em um período particular. Fatores climáticos são as condições geográficas que controlam o clima: latitude, altitude, distribuição de mares e terras, topografia, correntes oceânicas, etc. O registro climático é qualquer registro de evento meteorológico representado em forma alfanumérica, gráfica ou cartográfica, abrangendo um longo período cronológico.

As informações paleoclimáticas são essenciais para o desenvolvimento de uma compreensão científica das mudanças climáticas e para a previsão das mudanças climáticas associadas com as atividades humanas e os processos naturais.

### ALGUNS MÉTODOS PARA INFERIR CLIMAS DO PASSADO

DADOS	VARIÁVEIS MEDIDAS	REGIÃO	TEMPO (ANOS)	DEDUÇÕES CLIMÁTICAS
Rochas sedimentares	Aparência e conteúdo fóssil	Global	No mínimo 100 milhões	Chuva e nível do mar
Características Geomorfológicas	Forma e elevação do terreno	Global	10 milhões	Temperatura, Chuva e nível
Sedimentos Oceânicos	Tipos e isótopos de fósseis planctônicos	Oceanos	10 milhões	Temperatura da Superfície do mar
	Cinza vulcânica e areia	Oceanos rasos	200.000	Direção do vento
Testemunhos de gelo	Profundidade e isótopos das camadas	Antártica e Groenlândia	800.000	Temperatura, Precipitação e atividade solar
Sedimentos de lagos	Varves	Latitudes médias	Cerca de 100.000	Temperatura e chuva
Pólen	Quantidade de espécies	50°s-70°n	100.000	Temperatura e chuva
Solos antigos	Composição	Baixas e médias latitudes	100.000	Temperatura e chuva
Geleiras	Extensão	Global	20.000	Temperatura e precipitação
Arqueologia	Vários	Global	Acima de 10.000	Vários
Testemunho de Gelo	Temperatura	Vários	Cerca de 10.000	Temperatura
Anéis de árvores	Espessura do anel	De média para alta latitude	8.000	Temperatura e chuva
Registros indiretos	Registro de navegação, etc.	Global	Acima de 1.000	Vários
Instrumentos de Medida	Vários	Global	300	Vários

Fonte: Adaptado de LINACRE e GEERTS, 1997.

Os registros paleoclimáticos geram informações de milhares ou milhões de anos atrás, e são catalogados em vários tipos de sistemas de “gravação natural”, sendo especialmente adequados para os últimos 100.000 anos. Diversas fontes de dados paleoclimáticos, com as respectivas variáveis medidas, e as características que se podem inferir de cada fonte são apresentadas na tabela anterior.

No Hemisfério Sul, até 20 mil anos atrás, as massas de gelo tiveram avanços em todos os continentes, *i.e.*, América do Sul, África, Austrália e Antártica; no caso da Antártica, mais especificamente no Oceano Austral, ocorreu um importante aumento na extensão do gelo marinho.

Análises nas amostras dos testemunhos de gelo da Groenlândia e da Antártica contribuem com informações a respeito das mudanças no sistema climático dos últimos ciclos glaciais e interglaciais. A partir das bolhas de ar presas no gelo, a composição da atmosfera nos anos passados pode ser inferida em função da profundidade. No registro dos últimos 500 mil anos, a concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico obtida no testemunho de gelo de Vostok, Antártica, até 3.623 m de profundidade, acompanha as variações da temperatura média atmosférica. A diminuição constatada nas concentrações do  $\text{CO}_2$  e do metano ( $\text{CH}_4$ ) sugere diminuição no efeito estufa e, portanto, um resfriamento terrestre até o último máximo glacial (cerca de 20 mil anos atrás). Desse máximo até o presente, a concentração de  $\text{CO}_2$  aumentou, acompanhada de aumento da temperatura do Planeta. Bolhas de ar presas no gelo mostram, também, que o  $\text{CH}_4$  e outros gases radiativamente ativos sofreram significantes variações.

## ANTÁRTICA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Registraram-se na última década e no último século recordes na temperatura média global, considerando-se a série de medidas de até dois séculos atrás.

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2005), o mês de outubro de 2005 foi o mais quente já registrado no Planeta. A média da temperatura global para o período de 1961 a 1990 foi de 14°C.

Em 2005 registrou-se aquecimento de +0,47°C acima da média climatológica (1961-1990) para todo o globo. Esse valor classifica o ano de 2005 como o segundo ano mais quente desde o início dos registros sistemáticos a partir de 1850. O ano mais quente nesse período foi 1998, quando a temperatura média do ar esteve +0,52°C acima da média. Destaca-se também que os últimos dez anos (1996-2005), com exceção de 1996, foram, para o Planeta, os mais quentes de todo o registro, e os cinco anos mais quentes, nessa década, foram, em ordem decrescente: 1998, 2005, 2002, 2003, e 2004.

Neste cenário de aquecimento global, observa-se a elevação da temperatura do ar na maioria das regiões polares e subpolares, com destaque para o Hemisfério Sul, graças à presença da maior massa de gelo (90%) existente na atualidade, na Antártica, possuindo importante controle na circulação atmosférica do nosso hemisfério. A Península Antártica apresenta uma elevação na temperatura média do ar a partir da segunda metade do século XX. Observando os registros de temperatura do ar na EACF, para o período de 1986 a 2005, verifica-se que esse aumento é real e da ordem de +0,55°C por década, para a temperatura média do ar. Em comparação com o aumento médio para o Planeta, esse valor é cerca de 5 vezes mais alto, o que justifica a identificação dessa região como uma das mais sensíveis às mudanças climáticas.

A atual tendência de aquecimento global e regional observada na Península Antártica e na Ilha Rei George, combinada com o aumento na velocidade dos ventos de oeste ao redor da Antártica, deve estar modificando a frequência e intensidade do Ciclones Extratropicais (Ces) no Oceano Atlântico Sul e, por consequência, no sul da América do Sul. Mudanças no comportamento dos Ciclones Extratropicais, sua intensidade e variabilidade sazonal e anual, são estudadas por pesquisadores do Proantar, que destacam a atuação dos CEs na região sudeste do Atlântico Sul e afirmam que estudos sobre os CEs devem ser enfatizados, pois esses sistemas meteorológicos, com frequência de até um por semana durante o inverno, propiciam a entrada de massas de ar frias que afetam intensamente o Sul e Sudeste do país, atingindo eventualmente até mesmo a Amazônia e o Nordeste.

As condições no sudoeste do Atlântico Sul durante e após a passagem dos CEs são bem distintas. Durante sua passagem, quando a frente fria predomina com os ventos fortes, chuvas, nevoeiros e baixas temperaturas associadas, as condições marítimas tornam-se preocupantes. As ressacas que resultam nas regiões costeiras do Sul e do Sudeste do Brasil em muitos casos são violentas, destruindo calçadões, vias públicas, quiosques de beira de praia, ou qualquer obra humana entre o cordão de dunas frontais e a linha de praia. Também registram-se naufrágios de embarcações pesqueiras pequenas e, conseqüentemente, óbitos. Os eventos mais intensos ocorrem no caso dos CEs que possuem ventos fortes, com velocidade superior a 60 km/h (33 nós), e trajetória paralela à costa.

É importante destacar que o atual quadro de mudanças climáticas implica alterações e efeitos climáticos na Antártica e como esse continente é um importante controlador do clima no Planeta. O Hemisfério Sul deverá apresentar mudanças no clima que serão observadas na América do Sul e no Brasil.

Fato importante a ser considerado é a “Corrente das Malvinas, em relação ao Oceano Austral e seus efeitos na costa sul e sudeste do Brasil”, que transporta as águas frias subantárticas para o norte, ao longo da costa leste da América do Sul, até o norte do Rio de Janeiro. No sentido contrário, ocorre a “Corrente do Brasil”, de origem equatorial, e quente. A presença e a interação dessas massas de água afetam o clima da região costeira sul e sudeste, tanto em temperatura como em umidade e cobertura de nuvens.

Portanto, as características físicas e geográficas do continente antártico são peculiares e distintas e, juntamente com seu manto de gelo, têm papel fundamental na determinação do clima do Planeta. O impacto registrado na temperatura média global do ar nos últimos 150 anos é de um aumento de +0,7°C. Em particular, a Península Antártica destaca-se nesse cenário com um aumento de cerca de 3°C apenas nos últimos 50 anos, e isso por estar localizada em alta latitude, e por ser uma barreira elevada, orientada no sentido Norte-Sul, que interfere na circulação zonal. Esse aumento mais marcado, até o momento, não se propagou para o interior do continente devido as suas condições físicas (e.g. altitude) e climáticas extremas.

Outro claro sinal de mudanças climáticas nas regiões polares, e principalmente na periferia do continente antártico, é o atual recuo das geleiras terrestres, como na Ilha Rei George, e a rápida desintegração da frente flutuante das geleiras e das plataformas de gelo da Península Antártica. Por exemplo, as plataformas de Larsen A e Larsen B, no lado leste da Península, perderam o equivalente a 15.000 km<sup>2</sup> só nos últimos 15 anos.

A Estação Antártica Comandante Ferraz, na Ilha Rei George, na orla antártica marítima, longe dos rigores do continente, permite ao Brasil uma posição privilegiada para desenvolver pesquisas sobre mudanças climáticas e ambientais e de suas conseqüências em diversos ramos da ciência, por localizar-se na região mais sensível aos sinais climáticos e ambientais tanto no Hemisfério Sul como no Planeta.

Uma abordagem didática da variabilidade do clima e a retrospectiva do registro das mudanças climáticas naturais e antropogênicas na história recente da Terra possibilitam conectar o atual quadro de mudanças climáticas com as futuras alterações e efeitos climáticos na Antártica, e entender como essas mudanças afetarão o Hemisfério Sul e, principalmente, o Brasil.



# MANTO DE GELO







# MANTO DE GELO

Antártica, 13,6 milhões de km<sup>2</sup>, ou seja, 1,6 vezes a área do Brasil. O sexto continente é 99,7% coberto por um enorme manto de gelo com espessura média de 2.034 m, é formado por neve que caiu e acumulou através de milhares de anos.

O volume de gelo armazenado lá é imenso, 25 milhões de km<sup>3</sup>, e representa 70% da água potável do mundo. Se todo esse gelo fosse transferido para o Brasil, teríamos todo o território nacional coberto por uma camada de gelo com 2.940 m de espessura. Esse gelo, se totalmente derretido, aumentaria o nível dos mares em 60 m, ou seja, qualquer variação nele terá implicações importantes para as praias brasileiras.

O oceano ao redor da Antártica também é coberto por gelo. No verão são 2 milhões de km<sup>2</sup> de mar congelado, no inverno aumenta para 19 milhões de km<sup>2</sup>. É nesse gelo marinho que os quebra-gelos navegam. Tanto o gelo do continente (o manto de gelo) e do mar (o gelo marinho) são importantes controladores do clima no Atlântico Sul. Portanto, é essencial compreendermos como o gelo antártico afeta o clima brasileiro.

## O INTERIOR

O interior do continente é dividido pelas montanhas transantárticas, com mais de 3.500 km de extensão. A Antártica Oriental é um enorme platô de gelo que ultrapassa 4.200 m de altitude e esconde cadeias de montanhas de até 3.000 m de altura. É a região mais fria do planeta (a temperatura média anual é de -55°C, temperaturas menores do que -70°C são comuns) e também uma das mais secas (cai menos água, na forma de neve, do que no interior do Saara!). A Antártica Ocidental, é mais baixa e onde a temperatura média é maior (ao redor dos “agradáveis” -25 °C).

Esse manto de gelo antártico é um dos principais controladores do nível dos mares. Se ele derrete, a água vai para o mar. No entanto ainda não sabemos exatamente o que está acontecendo no interior da Antártica (se o gelo está diminuindo ou aumentando). Por isso, os cientistas fazem mapas de tempos em tempos do gelo antártico, usando imagens de satélites.

## A COSTA

Grande parte da costa antártica é circundada por plataformas de gelo. Essas plataformas são partes flutuantes do manto de gelo e têm até 1.200 m

de espessura. A maior dessas plataformas (a Ross) têm 490 mil km<sup>2</sup>, ou seja, é quase 2 vezes maior do que o estado de São Paulo (248 mil km<sup>2</sup>). Elas acabam em enormes penhascos de gelo, alguns com mais de 50 metros de altura. É nessas frentes das plataformas que se formam os maiores icebergs, alguns com mais de 100 km de comprimento.

O manto de gelo e as plataformas são formados pela precipitação e acumulação de neve. Ou seja, é água potável. Não devem ser confundidas com o gelo marinho (banquisa) que é formado pelo congelamento sazonal da água do mar (este só atinge entre 1 e 3 metros de espessura).

## ICEBERGS GIGANTES

A formação de icebergs deve ser vista como algo normal na Antártica. É assim que o manto de gelo é descarregado no mar e mantém seu tamanho, caso contrário ele cresceria infinitamente. Esses icebergs gigantes se formam como resultado da ação do vento e ondas, ou simplesmente porque a plataforma de gelo no qual eles se originam está muito grande (extensa) e quebra.

## A PENÍNSULA ANTÁRTICA

As atividades brasileiras são concentradas no arquipélago das Shetlands do Sul, a aproximadamente 120 km da península Antártica (uma extensão montanhosa do continente que prolonga-se 1.500 km em direção à América do Sul). Aqui as condições climáticas são relativamente “amenas”: na estação brasileira Comandante Ferraz, na ilha Rei George, a temperatura média anual é -2,8 °C. Mas ventos de mais de 170 km por hora podem ocorrer também aqui.

Nessa parte da Antártica as geleiras são menores e mais íngremes. O gelo aqui é mais quente do que no resto do continente. Por isso, é aqui que estamos observando os primeiros impactos das mudanças climáticas dos últimos 50 anos, principalmente na parte mais ao norte. As poucas plataformas de gelo na península estão desintegrando-se e derretendo rapidamente (aqui, 15.000 km<sup>2</sup> de gelo – mais ou menos 3 vezes a área do Distrito Federal – desapareceram nos últimos 15 anos).

## TESTEMUNHOS DO GELO DA ANTÁRTICA: RECONSTRUINDO A HISTÓRIA AMBIENTAL DA TERRA

Testemunhos do gelo são cilindros de gelo obtidos pela perfuração do manto antártico e provêm o melhor arquivo da evolução climática e da química atmosférica ao longo do último milhão de anos.

Os testemunhos de gelo contam uma história rica sobre a atividade vulcânica, fontes terrestres de poeira, extensão do mar congelado, atividade biológica terrestre e marinha e poluição global. Por exemplo, o aumento de 36% na concentração de CO<sub>2</sub> (gás carbônico), desde o início da “Revolução Industrial”, foi detectado pelo estudo das bolhas de gases retidos no gelo.

Oscilações na temperatura atmosférica foram estimadas para os últimos 400 mil anos a partir de variações dos isótopos de hidrogênio e oxigênio que formam o gelo. Hoje sabe-se, através desses estudos, que, durante a última idade do gelo (18 mil anos atrás), a Terra era 8°C mais fria do que hoje.

Os testemunhos de gelo permitem a identificação de explosões vulcânicas e a avaliação do fenômeno de precipitação ácida (*i.e.*, neve ácida). Análises químicas também ajudam na detecção de explosões vulcânicas e indicam variações climáticas e na composição atmosférica. Finalmente, todas as explosões termonucleares (bomba de Hidrogênio) realizadas na atmosfera estão registradas na neve e no gelo polar.

## LAGOS EMBAIXO DO GELO ANTÁRTICO

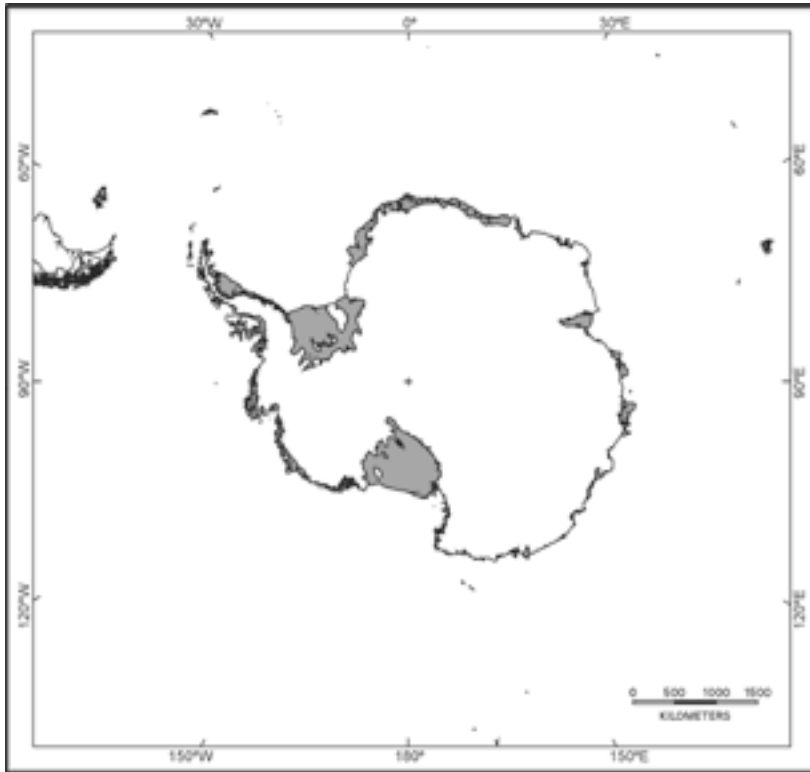
Uma das grandes descobertas científicas na Antártica foi a dos lagos subglaciais antárticos, encontrados abaixo de milhares de metros de gelo. Esses lagos, alguns quase do tamanho da laguna do Patos no Rio Grande do Sul, estão isolados a milhões de anos e podem conter organismos desconhecidos para o homem. O que será que encontraremos lá? Cientistas russos pensam perfurar o gelo até um desses lagos, nos próximos anos.



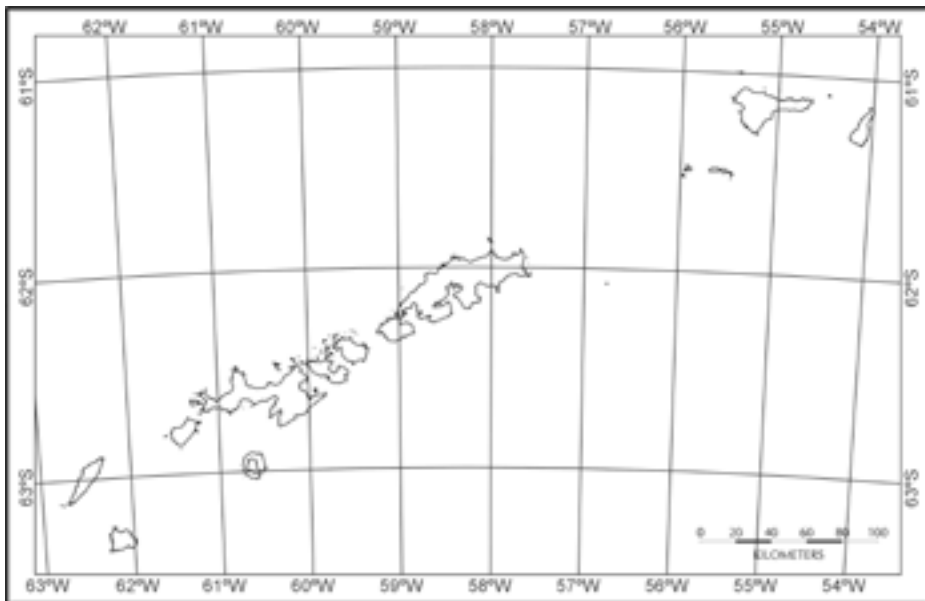
*Antártica e a América do Sul*



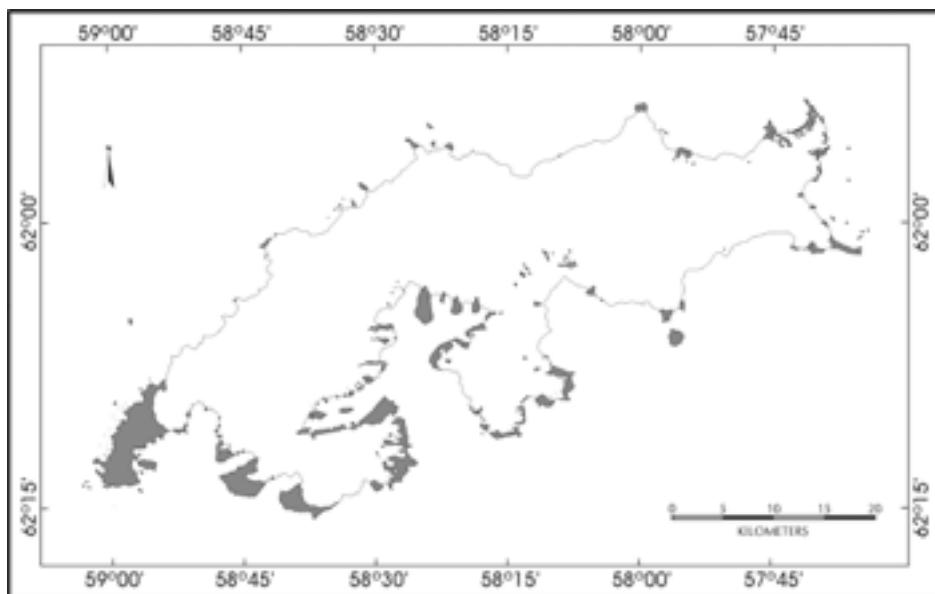
*Comparação de tamanhos  
entre o Brasil e a Antártica*



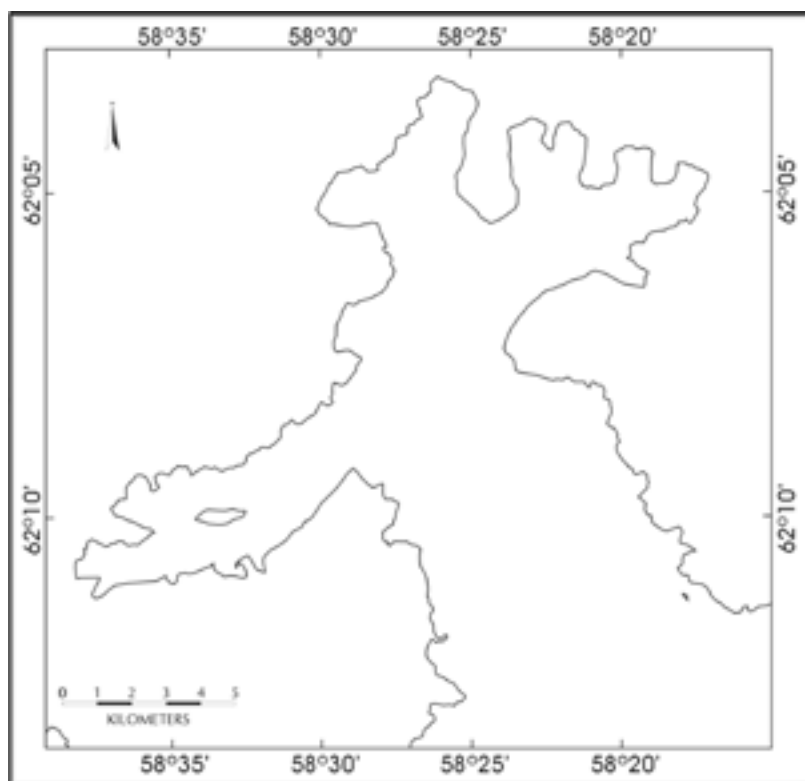
*Antártica*



*Ilha de Shetlands*



*Ilha Rei George*



*Baía do Almirantado*

# OCEANO AUSTRAL







# OCEANO AUSTRAL

A região oceânica ao sul do paralelo de 40°S é normalmente referida como Oceano Austral. Em relação às outras partes do oceano mundial, essa é uma região única em muitos aspectos. O principal deles está relacionado ao fato de que, nessas altas latitudes do Hemisfério Sul, a circulação oceânica tem caráter circunglobal, isto é, pode fluir quase que livremente ao redor do globo terrestre. Outro aspecto interessante, singular ao oceano que circunda o continente Antártico, é a comunicação livre com todas as outras principais bacias oceânicas do planeta: Atlântica, Índica e Pacífica.

É nessa região do oceano mundial onde as águas mais frias e densas observadas no planeta são formadas e, eventualmente, exportadas para ocupar o fundo dos oceanos da Terra. A ocorrência desse processo de formação e exportação dessas águas nos arredores do continente Antártico tem fundamental importância para a manutenção do clima terrestre.

Os mecanismos que compõem esse processo são altamente sensíveis a qualquer tipo de mudança ambiental, seja de origem natural, seja causada pelo homem. Por exemplo, é sabido que o aumento da temperatura da atmosfera global – como o devido aumento do efeito estufa, pode elevar as taxas de derretimento das grandes geleiras continentais, ou *glaciers*, que desembocam no oceano e, também, dificultar a formação do gelo marinho durante os invernos polares. Ambos os impactos têm resultados imediatos, como o aumento da taxa de elevação do nível do mar em termos globais.

## TOPOGRAFIA DE FUNDO E MORFOLOGIA

O oceano Austral é limitado pelo continente Antártico ao sul. Ao norte o limite não é continental, mas sim hidrológico (ou oceanográfico) e se dá na região denominada de convergência subtropical, situada aproximadamente entre as latitudes de 30°S e 40°S. O termo convergência está relacionado nesse contexto com *encontro*. A convergência subtropical engloba uma linha tênue, ou frente, que define a interface entre o regime oceânico subtropical, ao norte, e as águas subpolares do oceano Austral, ao sul. É nessa interface que se observam grandes variações das propriedades oceanográficas, como por exemplo a temperatura da água, a salinidade ou a concentração de oxigênio dissolvido na água do mar. A área oceânica ao sul da convergência subtropical é de aproximadamente 77 milhões de km<sup>2</sup>, ou cerca de 22% da superfície do oceano mundial.

O fundo do Oceano Austral é composto por três bacias com profundidades maiores que 4 mil metros: *Weddell-Ederby*, *Bellingshausen* e *Mornington*. Esta última também é referida como Bacia Pacífico-Antártica. Essas bacias são separadas por três principais cordilheiras submarinas.

A Cordilheira de *Scotia* do Sul, que conecta a Antártica com a América do Sul e com diversas ilhas, está localizada a aproximadamente 2 mil quilômetros a leste da passagem ou estreito de Drake. Essa passagem, talvez a feição mais conhecida do Oceano Austral, consiste em uma abertura estreita entre o extremo sul da América do Sul (aproximadamente 56°S) e o extremo norte da Península Antártica (63°S), com aproximadamente 780 km.

Mais a leste, a Cordilheira de *Scotia* do Sul é normalmente mais rasa que 2 mil metros, com algumas passagens em torno dos 3 mil metros de profundidade. O efeito combinado dessas duas feições topográficas sobre a corrente oceânica que circunda o Continente Antártico, denominada de Corrente Circumpolar Antártica (CCA), é marcante e muito importante em termos oceanográficos. Tal corrente circunda o globo terrestre, fluindo de oeste para leste, ao longo de praticamente toda a extensão meridional (norte-sul) do Oceano Austral.

Quando a CCA se aproxima do Estreito de Drake, vinda do setor Pacífico, a corrente se acelera à medida que todo o fluxo tem de passar pelo estreito. Como consequência, o fluxo da CCA atinge o obstáculo da Cordilheira de *Scotia* do Sul, mais a leste, já no setor Atlântico, com velocidades relativamente altas. Esse fato gera uma série de consequências oceanográficas como, por exemplo, a formação de um ramo costeiro da CCA, denominado de Corrente das Malvinas, que se dirige ao norte, ao longo da plataforma continental argentina até aproximadamente 38°S.

As outras cordilheiras importantes são o Platô *Kerguelen*, no setor do oceano Índico, e a Cordilheira Pacífico-Antártica, no setor do Oceano Pacífico. Apesar de apresentarem limitações para o fluxo da CCA em profundidades em torno dos 3 mil metros, algumas mudanças de direção e intensidade da CCA são observadas, mas a corrente não sofre alterações tão significativas à medida que transpassa esses obstáculos, como observado no caso do Estreito de Drake.

As plataformas continentais são regiões rasas (menos de 300 metros de profundidade) adjacentes às linhas de costa. As plataformas continentais do Continente Antártico são, em geral, bem estreitas. As exceções são as plataformas largas, com aproximadamente 400 km e mais profundas, com profundidades de cerca de 400 m, presentes nos Mares de Weddell e Ross. Além disso, as regiões de plataforma ainda são caracterizadas por depressões irregulares, *canyons* submarinos e plataformas de gelo, as quais se estendem diretamente dos continentes para o interior do oceano.

## HIDROLOGIA E GELO MARINHO

Os oceanos polares, tanto o Austral como o Ártico, têm nas suas camadas superficiais forte influência de água doce tanto de origem continental como do derretimento anual do gelo marinho. No caso do Oceano Austral, o maior aporte de água doce para o oceano vem dos *glaciers* continentais, que ali desembocam tanto por meio da quebra da extremidade desses corpos, formando icebergs, como pelo próprio derretimento da extremidade dos *glaciers* ou pelo derretimento da porção basal sob as plataformas de gelo. Além dos *glaciers*, o Oceano Austral é circundado por uma região de taxas de precipitação, por chuva e por neve, relativamente altas, centrada ao longo do 50°S, onde os ventos de oeste são mais intensos. Como as taxas de evaporação ao longo dessas latitudes são muito baixas, existe um ganho efetivo de água doce pelo oceano na região.

Diferente do Ártico, o gelo marinho no Oceano Austral não tem extensão limitada pelos continentes, ou seja, é predominantemente formado por gelo *jovem* com cerca de 0,5-2 m de espessura. O termo *jovem* refere-se ao gelo que é formado todo ano, durante o inverno, e posteriormente derrete durante o verão. Massas de gelo com mais de um ano de idade, que sobreviveram a pelo menos um inverno, são observadas nas proximidades das grandes plataformas de gelo no interior dos Mares de Weddell e Ross. A extensão média do gelo marinho varia de 4 milhões de km<sup>2</sup>, durante o verão Austral, até cerca de 22 milhões de km<sup>2</sup> durante o inverno.

## CORRENTES OCEÂNICAS

As águas ao longo de todos os extratos verticais, mas predominantemente na camada superficial, circundam a Antártica de oeste para leste. Esse movimento, fortemente controlado pelos padrões da circulação atmosférica nessas latitudes, cujos ventos também são de oeste para leste, dá origem à Corrente Circumpolar Antártica. Esse fluxo é intenso quando comparado às outras correntes oceânicas da Terra, particularmente nas regiões onde existem pontos de “estrangulamento” da CCA, definidos pelos limites continentais: a Passagem de Drake, que é limite mais importante, ao sul da Nova Zelândia e ao sul da África do Sul. Outra diferença, quando comparada com outras fortes correntes oceânicas do planeta, é que, quando observado ao longo da coluna d’água, nota-se que há pouca atenuação da velocidade da corrente em relação à velocidade superficial.

Vários autores já investigaram as características das CCA. A quantidade de água transportada por essa corrente, em cada instante de tempo, por exemplo, está definida como cerca de 134 *Sverdrupe*. *Sverdrup* é uma unidade

oceanográfica de transporte de volume de água. Cada Sv equivale a 1 milhão de m<sup>3</sup> de água passado a cada segundo por uma determinada seção, por exemplo no Estreito de Drake.

Foi observado que a CCA pode se comportar como um conjunto de jatos de corrente que, embora siga o mesmo padrão médio geral, pode apresentar comportamentos instantâneos distintos. Por exemplo, em certas regiões, esses jatos são separados por grandes variações laterais de densidade da água do mar, definindo duas regiões importantes do ponto de vista oceanográfico no oceano Austral: a Frente Polar e a Frente Subantártica.

Ao longo das frentes oceânicas, há interação de massas de água de origens e características muito distintas que, em um momento posterior, podem se misturar dando origem a outras massas de água diferentes das originais. A posição dessas frentes ao longo do caminho da CCA é extremamente variável, o que dá uma característica meandrante, ou sinuosa, para a CCA ao longo do seu deslocamento. Os meandros podem se separar da corrente principal na forma de grandes redemoinhos oceânicos, com diâmetros de até centenas de quilômetros, denominados *Anéis* ou *Vórtices*.

Nas proximidades do continente Antártico observa-se a presença da Estreita Corrente Costeira Antártica (CCoA), com deslocamento no sentido de leste para oeste. A existência da CCoA se dá pelo fato de a região costeira ao redor da Antártica se posicionar, em sua maior extensão, ao sul do cinturão atmosférico de baixa pressão que circunda o continente. Esse cinturão é o responsável pelos fortes ventos de oeste para leste que regem a CCA.

No entanto, em direção das maiores latitudes, as variações de pressão atmosférica entre o cinturão de baixa e o núcleo de alta pressão atmosférica presente nas proximidades do pólo sul impõe um regime costeiro de ventos de leste, dando origem assim ao fluxo da CCoA. Embora a CCoA tenha sido observada na maioria das regiões ao longo da costa Antártica, ela não é completamente circumpolar. Descontinuidades dessa corrente são observadas no interior dos mares de Ross e Weddell, em função da presença quase permanente de plataformas de gelo marinho.

## FRENTES OCEÂNICAS, CONVERGÊNCIAS E DIVERGÊNCIAS NO OCEANO AUSTRAL

O limite geográfico do oceano Austral é definido pela porção sul da convergência subtropical (CST). Na porção sul da CST, a salinidade e a temperatura superficial do oceano diminuem rapidamente em direção a maiores latitudes, definindo uma região de *frente* conhecida como frente subtropical (FST). Como visto anteriormente, frentes oceânicas são regiões de variações

abruptas, isto é com gradientes intensos, das propriedades oceanográficas tais como temperatura, salinidade, densidade, etc. Mais ainda, as frentes oceânicas normalmente estão associadas com convergências, onde se observa afundamento de massas de água superficiais, ou divergências, associadas ao afloramento de massas de água profundas.

Ao sul da FST está definida uma região conhecida como *zona subantártica* que se estende até aproximadamente 58°S. O limite sul da *zona subantártica*, ou seja, a transição entre o regime subantártico e a região polar é caracterizada por duas feições frontais: a frente Subantártica (50°S) e a *frente Polar* (58°S). Define-se a região ao sul da frente Polar, como a *zona Antártica* propriamente dita, estendendo-se até a borda continental Antártica.

Nessa região observa-se ainda mais uma frente oceânica, a *divergência Antártica* (62°S) que, nesse caso, resulta do afloramento, da ascensão de águas profundas oriundas principalmente do Atlântico Norte. Esse afloramento, ou ressurgência, é outra característica singular do oceano Austral onde as águas oriundas do Atlântico Norte, caracterizadas por valores mais altos de salinidade, são trazidas de profundidades entre 2.500 m e 4.000 m para próximo da superfície, a cerca de 200 m. Uma vez aflorada, a *Água Profunda do Atlântico Norte* (APAN) passa ser a principal componente das águas carregadas pela CCA.

## MASSAS DE ÁGUA

### A CAMADA SUPERFICIAL

As águas superficiais ao redor da Antártica são denominadas de *água superficial Antártica* (ASAnt) e ocupam as camadas do oceano entre 50 e 200 m de profundidade. A ASAnt é relativamente quente ( $-1,7 < T < 1^{\circ}\text{C}$ ) e relativamente menos salina ( $S < 34,3$ ) que outras águas observadas na região. Ela deriva da APAN que aflora na região da divergência Antártica e, posteriormente, tem suas características modificadas por meio da interação com a atmosfera adjacente, por influência da precipitação e aquecimento/resfriamento anual. Abaixo da ASAnt observa-se outra massa de água típica da região, a *água de inverno* (AI).

A AI resulta do resfriamento da ASAnt durante o inverno austral até o congelamento, quando a salinidade da água adjacente é aumentada devido ao efeito *brine*, que consiste na expulsão de grande parte do sal contido na água do mar durante o congelamento, uma vez que a capacidade de o gelo reter sal dissolvido é bem menor que da água. Como consequência, a camada de água imediatamente abaixo da placa de gelo recém-formada tem sua salinidade aumentada significativamente. Como veremos posteriormente, esse processo é fundamental para a formação das águas de fundo ao redor do continente Antártico.

## ÁGUAS DA PLATAFORMA CONTINENTAL ANTÁRTICA

As massas de água que ocupam a plataforma continental na Antártica são denominadas de *águas de plataforma* (AP). Essas predominam nas camadas superficiais sobre as plataformas continentais, podendo estar situadas também abaixo das grandes plataformas de gelo dos mares de Weddell e Ross.

As AP são encontradas em diferentes regiões ao redor da Antártica com temperaturas próximas a ponto de congelamento, entretanto, exibindo uma ampla variação de salinidade. Durante o verão as AP são aquecidas pela radiação solar e diluídas pelo derretimento do gelo. Existem extensas plataformas continentais localizadas a sul e a oeste do mar de Weddell que favorecem a formação de massas de *água de plataforma de alta salinidade* (APAS). Por outro lado, as AP originadas na porção leste do mar de Weddell, onde plataformas continentais mais estreitas predominam, apresentam menores valores de salinidade, sendo denominadas de *águas de plataforma de baixa salinidade* (APBS).

As AP formadas sob as plataformas de gelo dos mares de Weddell e Ross são denominadas de *águas de plataforma de gelo* (APG). Essas águas são resultantes da interação entre as APAS e a base da plataforma de gelo em profundidades de até 1.500 m. Ocorre que, devido a sua alta salinidade, as APAS ficam mais densas e afundam ao longo da coluna d'água. Nos pontos próximos às plataformas de gelo, essas águas podem entrar nas cavidades presentes entre a plataforma de gelo e o fundo oceânico.

Com o aumento da pressão, as APAS, que, na superfície, estão próximas ao ponto de congelamento ( $-1.9^{\circ}\text{C}$ ), têm sua temperatura aumentada, iniciando assim o processo de derretimento da base da plataforma de gelo. A mistura resulta na formação da APG, extremamente densa, que sai das cavidades descritas acima na forma de plumas e participam da formação das águas de fundo tanto no Mar de Weddell como no Mar de Ross.

## A ÁGUA PROFUNDA CIRCUMPOLAR

O maior volume de água no oceano Austral é composto da *Água Profunda Circumpolar* (APC). O núcleo dessa massa de água é caracterizado pelo valor máximo de temperatura, isto é, temperaturas superiores a  $1,5^{\circ}\text{C}$  e mínimo de oxigênio dissolvido.

Ela se encontra abaixo das águas superficiais no extrato da coluna d'água, aproximadamente entre 500 e 1.200 m. A APC também está associada a um máximo relativo de salinidade, que está situado, por sua vez, em níveis mais profundos da coluna d'água em relação ao máximo de temperatura. Em função dessa diferença no posicionamento entre os máximos de temperatura e salinidade, a APC pode ser dividida em duas massas d'água distintas em

função da profundidade: APC-Superior (APC-S) e a APC-Inferior (APC-I), com núcleos centrados nos máximos de temperatura e salinidade, respectivamente. A baixa concentração de oxigênio na APC-S sugere que águas profundas com origem no norte do oceano Pacífico contribuem significativamente para a sua composição, enquanto o pico de salinidade presente na APC-I vincula essa massa com águas oriundas do Atlântico Norte. A APC também é relativamente rica em nutrientes dissolvidos.

A origem de maior parte da APC é a APAN, ou seja, tem suas características primitivas na região denominada como Mediterrâneo Ártico e também no mar do Labrador, no Atlântico Norte. Ambas as formas de APC estão contidas no fluxo para leste da CCA, com os extratos apresentando uma inclinação ascendente na coluna d'água em direção ao sul até as proximidades da divergência Antártica quando atinge sua menor profundidade.

Com essa ascensão na coluna d'água em direção ao sul, a APC pode, eventualmente, transpor as limitações topográficas e entrar nos domínios dos mares de Ross e Weddell. Por exemplo, a APC-I entra no giro de Weddell através de amplas descontinuidades na Cordilheira Sudoeste Indiana, resfria-se e passa a ser denominada de *Água Profunda Cálida* (APCal). Essa água, por sua vez, é componente instrumental na formação das águas de fundo e profundas na região, por meio dos processos de mistura no interior dos mares de Ross e Weddell. A APCal é caracterizada por temperaturas maiores que 0°C e aparece como uma camada contínua centrada em torno dos 500 m.

## FORMAÇÃO DE ÁGUAS PROFUNDAS E DE FUNDO NO OCEANO AUSTRAL

Um dos aspectos mais importantes do Oceano Austral está na formação e na exportação de águas de fundo. Tais águas, denominadas genericamente de *Água Antártica de Fundo* (AAF), possuem temperaturas menores que 0°C e ocupam as camadas mais próximas do fundo em todas as bacias oceânicas. A AAF tem origem nos mares Antárticos de Ross e de Weddell onde as duas variantes originais dessa água são encontradas. A *Água de Fundo do Mar de Weddell*, AFMW é a forma mais fria e salina, seguida pela *Água de Fundo do Mar de Ross* (AFMR). Os processos de formação dessas duas águas são similares. No entanto, cerca de 70% da AAF têm origem no mar de Weddell.

Durante o inverno austral, as temperaturas do continente Antártico podem cair até valores de -88°C nas regiões interiores, enquanto na costa os valores típicos são da ordem de -10°C.

Quando se considera que o continente Antártico é o mais alto do planeta, com altitude média de cerca de 2.000 m, percebe-se que a associação desses dois fatores, altitude e temperatura do ar, gera um desequilíbrio na coluna

atmosférica. O resultado desse desequilíbrio é que, por ser o interior do continente muito mais frio, portanto mais denso (ou pesado) que o ar presente nas costas, tal ar pesado tende a descer as encostas do continente em direção ao mar. Como essas diferenças em densidade são muito grandes, ao longo dessa descida o ar se acelera muito, gerando ventos de grande velocidade no sentido continente-mar, conhecidos como ventos *catabáticos*. Quando atingem o mar congelado, esses ventos tendem a afastar as placas de gelo marinho da costa e, como consequência, expõem o mar a esse ar de baixíssima temperatura vindo do continente. O resultado é um novo congelamento da superfície do mar e nova injeção de sal nas camadas adjacentes ao gelo recém formado, gerando APAS.

Quanto mais intenso e freqüente esse processo acontecer em um determinado inverno, maior será a quantidade de APAS formada sobre a plataforma. Essa água entra em contato e se mistura lateralmente com as águas sobre o oceano profundo que, no caso do mar de Weddell, são basicamente compostas por APCal. O resultado é uma água extremamente densa que desliza sobre a borda continental num fluxo quase vertical, denominado de convecção profunda, até atingir o fundo do mar do Weddell.

Essa água recém-formada é a AFMW. Ao longo da sua descida pela borda continental a mistura lateral entre a AFMW recém-formada com as águas oceânicas adjacentes continua, resultando em uma outra forma denominada de *Água Profunda do Mar de Weddell* (APFW). A APMW é a forma que efetivamente é exportada do mar de Weddell para gerar a AAE, uma vez que a AFMW fica aprisionada na região, pois não consegue transpor as cordilheiras submarinas, e sua alta densidade a posiciona em profundidades maiores que 3.800 m.

## IMPORTÂNCIA DO OCEANO AUSTRAL NO CLIMA DO PLANETA

O clima do planeta Terra é resultado de diferentes processos termodinâmicos que ocorrem entre o oceano, a atmosfera, a criosfera (gelo), os continentes e o espaço sideral. Vários fatores, dentre eles a configuração atual dos continentes, a distribuição das grandes cadeias de montanhas do planeta e as diferentes bacias oceânicas contribuem para o clima terrestre atual.

Devido à grande capacidade térmica da água em armazenar energia proveniente do sol, os oceanos desempenham papel fundamental no clima terrestre. Como as águas dos oceanos estão em constante movimento redistribuem o calor recebido nas regiões equatoriais e tropicais e direcionam essa energia para os pólos. Essa distribuição se dá pelas camadas superficiais dos oceanos. No geral, como as bacias oceânicas são expostas a diferentes regimes atmosféricos, teremos distintos padrões regionais de circulação.



No caso do oceano Austral, a circulação circumpolar, através da CCA, permite as trocas de água e de propriedades entre as bacias oceânicas. Assim, perturbações climáticas podem ser transportadas ao redor do Planeta para, mais tarde, influenciar os climas regionais em lugares distantes dos pólos. Além disso, a presença da CCA permite a existência da grande célula de revolvimento meridional, mecanismo responsável pelo transporte e pela distribuição de calor no sentido do Equador para os pólos, incluindo o afundamento e o afloramento de águas de fundo e profundas em altas latitudes.

Interações oceano-gelo são aspecto importante do sistema climático da Terra. Os grandes *glaciers*, plataformas de gelo e a cobertura de gelo marinho influenciam diretamente o nível médio do mar em todo planeta. Todos os processos de troca de propriedades entre o oceano e a atmosfera que influenciam o clima da Terra são altamente afetados na presença de gelo marinho, especialmente quando a superfície de gelo está coberta por uma camada de neve. Esses processos são calor, água e *momentum*, que é a quantidade de movimento trocada entre o oceano e atmosfera devido, principalmente, à ação do vento, acelerando e mantendo as correntes oceânicas.

A maior rugosidade dessa camada faz com que aumente o atrito do vento com a superfície do gelo para valores bem maiores do que os observados entre o vento e o mar. Da mesma maneira, a maior rugosidade na parte basal da placa de gelo também se torna mais eficiente na transferência de *momentum* para as camadas de água subjacentes. Por outro lado, o gelo e a neve são condutores de calor pouco eficientes. Durante o inverno, a cobertura de gelo em altas latitudes reduz radicalmente as trocas de calor entre o oceano e a atmosfera, prevenindo, portanto, o resfriamento demasiado da coluna de água. Essas trocas acontecem intensamente nas aberturas na cobertura de gelo conhecidas como *polynyas*.

Finalmente, as interações entre atmosfera, oceano e gelo marinho resultam na formação de massas de água profundas e de fundo em altas latitudes. Essas massas de água são as principais responsáveis pela *ventilação* do oceano profundo, termo que se refere à injeção de águas que recentemente tiveram contato com a atmosfera (normalmente frias) nas camadas mais profundas do oceano. O processo efetivamente renova as águas em profundidades abissais nos oceanos. São responsáveis, conseqüentemente, pela manutenção de 75% das águas do oceano mundial com temperaturas menores que 4°C, o que contribui para o delicado equilíbrio climático do Planeta.



# VIDA NA ANTÁRTICA



Odair Freire



# VIDA NA ANTÁRTICA

A Antártica é uma grande região coberta de gelo em mais de 95% de seu território e é rodeado por 10% de todos os mares do planeta. Parece incrível que nessas condições aparentemente tão adversas exista vida, tanto em terra como no mar, sendo que em terra a vida se restringe a microrganismos, alguns poucos vegetais como algas, fungos, líquens e musgos, duas espécies de plantas superiores e pequenos invertebrados. Todos os outros organismos são marinhos, inclusive as aves e os mamíferos, que se reproduzem em terra, mas dependem do mar para se alimentar.

A vida marinha na região Antártica é muito rica de organismos que vivem desde a superfície até o fundo, de regiões litorâneas rasas até regiões abissais, sendo que muitos espécimes são maiores do que em regiões tropicais, talvez por crescerem lentamente e assim atingirem, ao longo do seu desenvolvimento, um tamanho grande, fenômeno esse conhecido como gigantismo dos organismos antárticos.

Os organismos antárticos muitas vezes são considerados endêmicos, ou seja, vivem somente naquela região. Isso é consequência da história de nosso planeta, pois há 23 milhões de anos, a Antártica se separou definitivamente dos outros continentes, aparecendo, conseqüentemente, a Corrente Circumpolar Antártica (CCA). Além disso, o continente ocupou a região polar sul, a região mais fria de nosso planeta, fazendo o mar ficar mais frio e, conseqüentemente, mais denso que o sul dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico.

Assim, no mar houve evolução e adaptação dos organismos, vários desapareceram e outros surgiram ao longo do tempo, entretanto, alguns continuam em contato com o resto do planeta, como as baleias, algumas aves e alguns peixes que conseguem migrar e atravessar a fronteira climática e térmica daquela região. Algumas espécies de aves antárticas podem ser vistas na costa brasileira, perseguindo navios de pesca e, em alguns casos, migrando até o Hemisfério Norte. Outras aves, como os pingüins, migram algumas vezes até o sul do continente africano ou americano. Também as baleias migram pelo Oceano Atlântico, podendo ser observadas próximas à costa brasileira.

É muito provável que organismos que vivem nas regiões mais profundas dos oceanos tenham, também, conseguido ultrapassar essa barreira ao longo do tempo, acompanhando a direção das massas de água antártica profunda que avançam ao Pacífico, Índico e Atlântico. Atualmente, pesquisadores de todo o mundo vêm tentando avaliar essa capacidade de semente dos oceanos a partir da região Antártica.

A temperatura tem amplo efeito sobre todas as atividades e as funções biológicas. Por isso, as baixas temperaturas dos mares antárticos foram críticas na seleção de diversas macromoléculas com propriedades físico-químicas adequadas à manutenção da vida em temperaturas subzero. Nesse sentido, o aparecimento de glicoproteínas anticongelantes nos fluídos biológicos de peixes antárticos talvez tenha sido o evento de maior importância metabólica, considerando que as demais atividades metabólicas estão direta ou indiretamente dependentes da manutenção da fluidez dos fluidos biológicos, nesse caso, em temperaturas próximas à do congelamento da água do mar.

Estudos sobre as glicoproteínas anticongelantes no grupo dominante de peixes antárticos, os nototeniídeos, revelaram que a evolução molecular dessas glicoproteínas provavelmente tiveram sua origem na mutação do gene do tripsinogênio há cerca de 5 a 14 milhões de anos. Contudo, os ajustes metabólicos em resposta às mudanças da temperatura também envolveram a alteração da concentração de enzimas, a seleção de proteínas enzimáticas capazes de atuar em baixas temperaturas.

Muitos animais vão à Antártica no verão devido à presença abundante de krill (*Euphausia superba*) nas águas ao sul da Fronteira Polar Antártica. O krill predomina na alimentação de boa parte dos animais da região Antártica e essa abundância está relacionada com seu sucesso na reprodução e no desenvolvimento dos filhotes. Em quase todas as regiões, esses crustáceos, semelhantes ao camarão, são considerados o centro da cadeia alimentar, já que grande parte dos vertebrados marinhos ou se alimentam dele diretamente, ou então se alimentam de seus predadores. É um alimento rico em proteínas, mas acumula muito flúor abaixo de sua carapaça, tornando-se tóxico para o ser humano e impossibilitando seu consumo. Entretanto, baleias, alguns pingüins, várias aves e peixes se alimentam quase que exclusivamente de krill, não sofrendo com essa alta quantidade de flúor, pois possuem tolerância metabólica às concentrações elevadas desse elemento halogênio.

Durante o verão antártico, algumas espécies de pingüins chegam a ingerir de meio a um quilo de krill, sem apresentar intoxicação pelo fluoreto. Estudos sobre o metabolismo do fluoreto em vários organismos antárticos que se alimentam de krill têm revelado enzimas mais resistentes à inibição desse elemento, contribuindo para esclarecer os prováveis mecanismos evolutivos relacionados com a elevada tolerância desses organismos à sobrecarga alimentar de fluoreto.

No inverno antártico, entre os vertebrados, apenas os peixes permanecem na região: aves e mamíferos em grande parte migram para outras regiões mais favoráveis, pois a pequena porção de terra que estava descoberta

no verão fica coberta de neve e gelo e só aqueles organismos que resistem às grandes alterações de temperatura conseguem sobreviver. Já o mar é frio, mas a temperatura da água líquida não muda. Ele fica coberto de gelo marinho no inverno, abaixo do qual – e presos nele – se concentram organismos que, na primavera, quando o gelo derreter, servirão de alimento rico, fertilizando o ambiente marinho.

O que realmente muda drasticamente na região Antártica é a luz: os verões são claros, com dias muito longos e os invernos são longos períodos de escuridão. Essa variação afeta diretamente os organismos terrestres e os que vivem próximos à superfície do mar. Também no degelo e congelamento, a salinidade e a densidade da água mudam, o que exige outra adaptação dos organismos. Para os organismos terrestres, o degelo vai introduzir água doce líquida no meio, favorecendo o crescimento de plantas terrestres nas regiões úmidas e expondo algumas áreas, principalmente litorâneas, que ficarão livres de gelo e neve.

## DOMÍNIOS NA ANTÁRTICA

Diferentemente do Ártico, a diversidade de espécies das comunidades terrestres na Antártica é pobre. Entretanto, no mar ocorre o inverso: não só existem inúmeras espécies, como também um grande número de indivíduos da mesma espécie.

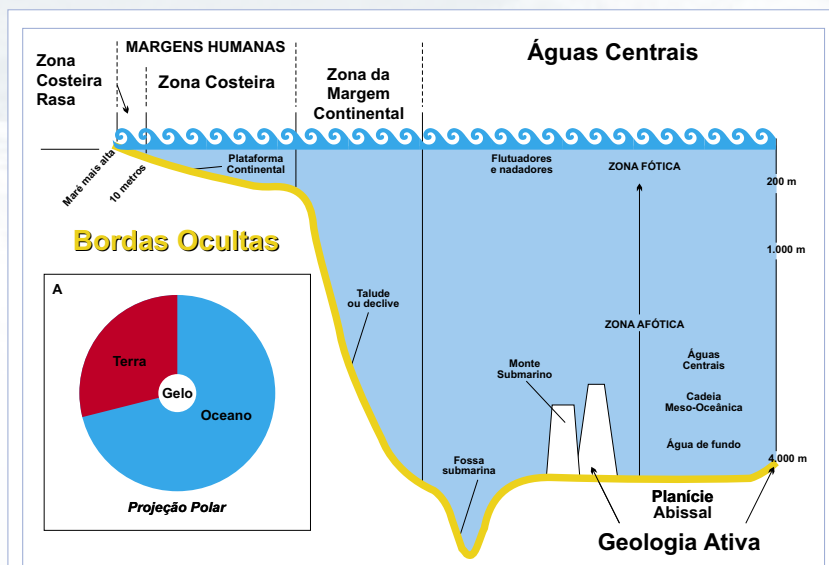
Além da luz, do oxigênio e do dióxido de carbono, água e nutrientes, na Antártica temos ainda a temperatura e os abrigos exercendo um papel primordial. Todos esses fatores vão caracterizar e permitir ou prejudicar a vida nos diferentes domínios na Antártica, nos diferentes *habitats* em que vivem os seres vivos. Tanto as necessidades biológicas dos organismos quanto as condições ambientais são variáveis que podem se alterar diariamente e sazonalmente, isto é, com as estações do ano.

Basicamente temos três domínios na Antártica: (1) o terrestre, compreendendo o continente propriamente dito, com suas duas regiões principais, a Grande Antártica e a Península Antártica e as ilhas Antárticas e Subantárticas; (2) o lacustre, que compreende os lagos superficiais e subglaciais e o (3) marinho, que compreende o sul dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico, que banham o continente e as ilhas na região Antártica. Em cada um desses domínios temos diferentes regiões e diferentes *habitats* nos quais ocorrem os seres vivos.

O ambiente marinho antártico é considerado muito mais rico que o ambiente terrestre, em termos da enorme variedade de seres vivos encontrados. Ao mesmo tempo, os ecossistemas marinhos antárticos são considerados

partes integrantes do sistema marinho global. A relação entre gelo e mar no Oceano Austral representa o fator mais importante como condutor da circulação das grandes correntes da Terra, as quais bombeiam nutrientes e águas ricas em oxigênio milhares de quilômetros até o Hemisfério Norte, fertilizando também águas superficiais. À medida que a água completa seu retorno de circulação para a Antártica, sobe à superfície e provê nutrientes para diferentes organismos como o plâncton, o krill e uma enorme biomassa de baleias, focas, pingüins e aves que são únicas da Antártica, fazendo do Oceano Austral um componente-chave do sistema oceânico da Terra.

Para facilitar seu estudo, o ambiente marinho pode ser estudado quanto aos domínios ocupados pelos organismos vivos representados na figura abaixo.



*Domínios dos organismos marinhos segundo o programa do Censo de Vida Marinha, que visa o levantamento de dados passados e presentes da vida marinha para tentar prever o que pode viver nos oceanos no futuro. Este é um diagrama simplificado dos principais domínios ocupados pelos organismos vivos, nos oceanos, tanto na coluna d'água (zona pelágica, que inclui as zonas fótica e afótica), quanto nos fundos oceânicos (zona bentônica). Fonte: <http://www.coml.org/baseline>.*

As margens humanas são aquelas que envolvem a zona costeira rasa, que vai desde a praia, entremarés, até a margem da plataforma continental, que nos continentes, de um modo geral, ocorre em média a 200 m de profundidade, mas que na região Antártica pode ocorrer até em profundidades de 800 a 1.000 m antes do início do declive (ou talude) propriamente dito. Esse faz parte da borda ou margem do continente, também conhecida como margem continental. Os fundos da margem continental e outras zonas profundas dos oceanos, como



a planície abissal e fossas submarinas são de difícil acesso. Nas planícies abissais podemos encontrar montes submarinos que são como montanhas, havendo também as cadeias de montanhas submarinas. Geralmente, nos montes submarinos existe uma grande riqueza de organismos como corais e peixes de profundidade que podem utilizá-los como berçários. Essas áreas profundas na Antártica são as menos estudadas até o momento e vêm sendo foco de atenção de vários pesquisadores.

Do ponto de vista da coluna de água sobre os fundos marinhos, encontramos uma porção na qual a luz é capaz de penetrar, é aquela que conhecemos como zona fótica e que vai até uma profundidade de mais ou menos 200 m. Abaixo dessa profundidade a luz não penetra e inicia-se uma zona escura, ou zona afótica, onde encontramos muitos organismos que desenvolvem adaptações para encontrar seus pares nessa zona escura.

Os organismos marinhos podem ser estudados de acordo com o domínio que ocupam. Dessa forma, aqueles que habitam a coluna d'água são considerados organismos pelágicos e aqueles que habitam os fundos marinhos são considerados organismos bentônicos. Os organismos pelágicos ainda podem ser divididos entre aqueles que flutuam com as correntes de água, os flutuadores, e aqueles que são capazes de vencer as correntes nadando ativamente, os nadadores. Os flutuadores são também conhecidos como plâncton e os nadadores, como necton. Dentre os flutuadores encontramos os microrganismos, o fitoplâncton e o zooplâncton.

## BIODIVERSIDADE ANTÁRTICA

Biodiversidade (ou diversidade de vida) é um termo que tem sido muito utilizado para indicar a riqueza (quantos tipos ou espécies) de organismos que habitam determinado local. Muitas vezes, a relação entre a riqueza de organismos e o número de indivíduos de cada espécie pode nos indicar se um determinado local está sofrendo alguma forma de impacto (que pode ser natural ou causada pelo homem). Por exemplo, um fundo marinho antártico que tenha sido escavado pelo gelo, pouco a pouco volta a ter a presença de espécies, que recolonizam a área afetada. Essa área fica com muitos indivíduos de umas poucas espécies, ou seja, com baixa diversidade. O mesmo pode ocorrer em áreas onde dejetos são lançados pelo homem no ambiente. Muitos animais não agüentam as alterações causadas pelos dejetos e poucas espécies conseguem resistir, aumentando em número, pois para elas aquelas condições tornam-se favoráveis para conseguir alimentos e reproduzir-se.

Conhecer a diversidade de organismos de um local pode também nos ajudar a compreender as várias formas como os seres vivos conseguem interagir

entre si e também como podem lidar com as variações do ambiente. Atualmente, os cientistas têm percebido que os organismos utilizam estratégias de vida que podem ser aplicadas na medicina e mesmo na indústria, a exemplo das proteínas anticoagulantes dos peixes antárticos.

## AMBIENTES TERRESTRE E LACUSTRE

### MICROORGANISMOS

Os microrganismos podem ser constituídos por células procariontes, como as arqueias e as bactérias eucariontes, como os fungos filamentosos e leveduras e até pelos vírus, que são parasitas celulares obrigatórios. Os microrganismos são de fundamental importância dentro da biosfera, atuando como colonizadores primários de novos *habitats*, fornecedores de biomassa e energia nas teias alimentares, reciclando macronutrientes e micronutrientes e mesmo como patógenos ou simbioses.

Em alguns ecossistemas, os microrganismos influenciam também o balanço respiratório-fotossintético e a disponibilidade de oxigênio, dióxido de carbono, metano e outros gases. Eles são considerados as primeiras formas de vida a aparecer no planeta há 3,5 bilhões de anos sendo os únicos a sobreviver durante muitos anos sob as condições inóspitas do planeta Terra. Até hoje existem muitos microrganismos considerados extremófilos, ou seja, capazes de sobreviver e se reproduzir em diferentes ecossistemas como os polares, onde podem ocorrer grandes variações de temperatura, salinidade, dessecação, escassez de nutrientes, alta incidência de radiação ultravioleta alternada com longos períodos de ausência de luz, mudanças climáticas acentuadas e descontínuas, além dos ciclos de congelamento e degelo. Em um ambiente tão restritivo, os ciclos biogeoquímicos e as teias alimentares chegam a ser exclusivamente formadas por microrganismos, como nos solos minerais dos desertos frios e em porções mais profundas de gelo glacial.

Alguns microrganismos antárticos são conhecidos como psicrófilos, por serem capazes de se reproduzir a baixas temperaturas. Os mecanismos biológicos de adaptação e tolerância ao frio têm sido estudados e podem envolver, por exemplo, a produção de proteínas anticongelantes e crioprotetoras que regulam a fluidez da membrana celular e inibem a formação de gelo intracelular, como as produzidas pela bactéria *Marinomonas primoryensis*, isolada de lagos antárticos. Esses mecanismos têm interesse especial para aplicação biotecnológica, pois podem ser aplicados, por exemplo, no processamento de alimentos, produtos químicos e aplicações médicas.

O ecossistema terrestre na Antártica é composto por gelo, neve, solo, *permafrost* e lagos, sendo o gelo e a neve características dominantes. A microbiota presente no gelo glacial é composta essencialmente de depósitos

de microrganismos transportados pelo vento. Nesse ambiente, os microrganismos enfrentam extremos de temperatura e pH, dessecação, fluxo radioativo e escassez de nutrientes. Dentre os grupos microbianos já encontrados em amostras de gelo glacial estão procariontes viáveis, algas verdes, cianobactérias, actinobactérias, fungos filamentosos e leveduras, com predominância de microrganismos esporulados em regiões mais profundas. Experimentos confirmaram a presença de células metabolicamente ativas em temperaturas de até -12 a -17°C.

O *permafrost*, por sua vez, é constituído por solo permanentemente congelado. Os estudos feitos nesses ambientes revelaram a presença de procariontes viáveis (bactérias e arqueias metanogênicas), algas verdes, cianobactérias, actinobactérias, fungos filamentosos e leveduras.

Solos em vários estágios de desenvolvimento são encontrados na Antártica. No caso da linha costeira continental ou das ilhas, como nas Ilhas Shetland do Sul, os solos geralmente recebem influência direta de material proveniente do aerossol marinho ou de aves e mamíferos que se alimentam no mar. Esses solos contendo umidade relativamente alta constituem um ambiente favorável para o crescimento microbiano, onde os fatores ambientais a que os microrganismos estão expostos são muito variáveis e envolvem flutuações drásticas de temperatura, aridez, pH, além de variações grandes de umidade, decorrentes dos ciclos de congelamento e degelo.

A salinidade pode também atingir valores bastante altos e a cobertura de neve, quando presente, gera variações de umidade, reduzindo a temperatura do solo durante o verão por causa do grande albedo, e funcionando como isolante térmico no inverno. O grande albedo da neve também reduz a quantidade de luz disponível para os organismos fototróficos. No entanto os extremófilos podem resistir a essas condições extremas.

Dentre os grupos de microrganismos encontrados em solos antárticos estão as microalgas, os fungos, as bactérias, os actinomicetos, os protozoários e as leveduras. As cianobactérias são em geral os organismos fototróficos dominantes. Entretanto, na região da Península Antártica, musgos e líquens são os produtores primários mais importantes. Os processos microbianos que ocorrem no solo também são variados, envolvendo produção fotossintética, fixação de nitrogênio, produção e consumo de metano, metabolismo de compostos nitrogenados (incluindo o ácido úrico do guano) e oxidação de compostos orgânicos de carbono.

Existem ainda muitos lagos na Antártica, sendo esses os ambientes mais favoráveis ao crescimento microbiano na região. Muitos são cobertos por uma camada de gelo que mantém a água abaixo descongelada. De uma forma

geral os lagos antárticos são ricos em compostos orgânicos dissolvidos, quando comparados com os de latitude temperada.

Mais recentemente foram descobertos inúmeros lagos subglaciais no continente antártico, como o lago Vostok, descoberto em 1996 e localizado 4 km abaixo da cobertura de gelo. Estima-se que esse lago, ainda não congelado, esteja aprisionado no gelo há mais de 500 mil anos, podendo conter microrganismos fósseis de suma importância para o estudo evolutivo das espécies. Muitas bactérias já foram isoladas da camada de gelo existente acima do lago Vostok.

### **PLANTAS E FUNGOS**

Poucas plantas são capazes de viver expostas às condições climáticas da Antártica e suas grandes variações de temperatura, além dos fortes ventos, nevadas e pouca disponibilidade de água.

Somente uma fração de 2% de terra fria e árida está disponível para um pequeno número de espécies vegetais que resistem às forças daquela natureza. A flora está adaptada para as condições fotossintéticas e respiratórias em temperaturas abaixo de  $-10^{\circ}\text{C}$  sobre o solo, já carente de vegetação. Além disso, algumas áreas com melhores condições para o desenvolvimento da flora estão ocupadas pelos pingüins.

Representam toda a flora antártica algumas algas, muitos líquens e musgos e duas pequenas plantas de tímidas flores. Entre as algas continentais, a *Prasiola crispera* é a mais comum entre as macroscópicas, podendo diversas espécies microscópicas ser encontradas inclusive diretamente no gelo (*Criobiontes*), colorindo de verde-amarelo grandes áreas de geleiras.

Entre os líquens, temos cerca de 110 espécies conhecidas nas Ilhas Shetlands do Sul e um total aproximado de 250 espécies para todo o continente. Os líquens conseguem sobreviver em solo pobre em nutrientes agarrando-se às rochas e resistindo ao frio graças ao seu baixo metabolismo, chegando a sobreviver dois mil anos. Os musgos (*Musci*) são representados por 60 espécies, sendo praticamente tão freqüentes quanto os líquens, só não apresentando a mesma variedade de cores. Recobrem, desde campos muito extensos (com mais de 100 m de comprimento), ao longo de áreas planas, até pequenos tufo (o que é comum para a maioria das espécies), em sulcos ou rachaduras de rochas onde um pouco de solo tenha se depositado, crescendo à sombra ou então diretamente nos rochedos, ou mesmo esparsos nos grandes campos.

Na tundra antártica herbácea aparece uma subformação onde encontramos as únicas plantas com flores que ocorrem normalmente na Antártica: a *Deschampsia antártica* (uma gramínea) e o *Colobanthus quitensis* (uma Caryophyllacea), dando um belo colorido a grandes extensões, muitos dos

liquens vingam no meio do gelo concorrendo com suas extraordinárias formas para o diverso fascínio polar.

Quanto mais se conhece a Antártica obviamente mais espécies são descobertas, mas, além disso, novas espécies exóticas àquele ambiente têm sido introduzidas, como aquelas provenientes da América do Sul, África e Austrália que conseguem sobreviver em condições extremas.

## AMBIENTE MARINHO: PELÁGICO

### MICROORGANISMOS

Como o Oceano Austral é um ambiente frio, de águas profundas, que cobre cerca de 10% da área oceânica total da Terra, os microrganismos presentes no ambiente pelágico antártico apresentam uma grande versatilidade metabólica, mas devem resistir às baixas temperaturas do oceano e aos ciclos de congelamento e degelo nas regiões mais próximas à costa. Os principais grupos de microrganismos encontrados são as microalgas, bactérias heterotróficas, arqueias e protozoários. Bactérias como os vibrios formam associações simbióticas com crustáceos, moluscos e peixes do meio marinho. Sabe-se que vibrios formam biofilme sobre o exoesqueleto quitinoso de crustáceos, obtendo energia da degradação da quitina.

### FITOPLÂNCTON

Fitoplâncton é o conjunto de organismos unicelulares microscópicos (2-200 µm - micrômetros), predominantemente fotoautotróficos, que se deslocam passivamente com os movimentos de correntes e de massas de água nos lagos, rios e mares. Distribuem-se espacialmente de forma agregada, nas zonas fóticas, ou seja, nas camadas mais superficiais onde há luz disponível.

Existem vários grupos de microalgas, azuis, vermelhas, algumas com flagelos, outras com esqueleto externo, sendo as principais as diatomáceas, dinoflagelados, criptofíceas, prasinofíceas, primnesiofíceas, crisofíceas e cianobactérias, pertencentes a reinos distintos conhecidos como Monera, Protista e Plantae. Os diferentes grupos possuem coloração característica (marrom, avermelhada ou verde), que é dada pelos diferentes pigmentos que as microalgas possuem. Porém, todas possuem clorofila-a, o principal pigmento fotossintético. Muitas dessas algas estão adaptadas ao frio e não conseguiriam viver numa região tropical como o Brasil.

No Oceano Antártico, assim como em todos os oceanos, essas algas constituem o mais importante grupo de produtores primários, convertendo o carbono inorgânico em matéria orgânica por meio da fotossíntese, formando a base das cadeias alimentares servindo de alimento ao zooplâncton (principalmente o krill), larvas de peixes e invertebrados que, por sua vez, sustentam

o restante da trama trófica. Sendo assim, o fitoplâncton desempenha papel fundamental nos ciclos biogeoquímicos (carbono, nitrogênio, fósforo, oxigênio e enxofre) e na transferência de matéria e energia ao ambiente.

As modificações na composição e abundância do fitoplâncton são determinadas por fatores ambientais como luminosidade, disponibilidade de nutrientes, pastagem pelo zooplâncton herbívoro e mecanismos físicos como ressurgência, convergência, divergência, turbulência, entre outros, os quais atuam de forma dependente e variam no tempo e no espaço. Em altas latitudes, a luz age como fator limitante e esse modo, uma variação anual marcante na radiação solar e na cobertura de gelo, ocasiona uma forte sazonalidade, refletida na composição e na abundância do fitoplâncton.

Os principais nutrientes necessários ao crescimento e à multiplicação das microalgas (nitrato, fosfato, silicato) são abundantes nos mares da Antártica. Porém, em áreas de oceano aberto, longe da influência direta da costa, pode haver deficiência do nutriente Ferro, limitando um maior desenvolvimento do fitoplâncton. Por isso, grande parte do Oceano Antártico tem sido caracterizado como ambiente oligotrófico, isto é, pobre em nutrientes e em biomassa e produção primária do fitoplâncton.

Várias espécies de microalgas, no ambiente Antártico, desenvolveram a capacidade de viver presas ao gelo e, no verão, com o derretimento de grande parte do gelo marinho, são liberadas para a água e realizam a fotossíntese de forma bastante eficiente, por haver alta intensidade de luz nessa estação do ano. Com isso, as microalgas se multiplicam rapidamente, acumulando-se principalmente nas águas superficiais. Esse processo de crescimento rápido da população das microalgas é denominado 'florescimento'. Nas áreas costeiras e em locais onde o Ferro é abundante, os florescimentos são frequentes, podendo abranger extensas áreas de vários quilômetros quadrados. No início do verão austral, o fitoplâncton em regiões costeiras é caracterizado pela abundância de organismos do nanoplâncton (menor que 20  $\mu\text{m}$ ) e de diatomáceas penadas, em suas maiorias bentônicas (ex: *Cocconeis* spp., *Navicula* spp. e *Synedropsis* sp.) que vivem associadas ao gelo. Após o degelo, domina uma comunidade com alta concentração de diatomáceas tipicamente pelágicas (*Corethron pennatum* e várias espécies de *Fragilariopsis* e *Thalassiosira*), adaptadas à vida planctônica.

Além de constituir a base da trama trófica, esses organismos possuem papel importante nos processos que influenciam o clima e as mudanças globais. O Oceano Antártico é conhecido como uma área de intensa troca de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) com a atmosfera e o fitoplâncton, por meio da fotossíntese, converte parte do  $\text{CO}_2$  dissolvido na água em matéria orgânica, formando

suas células. Ao final de um florescimento, quando os níveis de nutrientes já estão muito baixos, uma proporção relativamente grande dessa matéria orgânica sedimenta-se, “aprisionando” esse carbono no solo oceânico. Esse processo, quando em grande escala, causa diminuição significativa do CO<sub>2</sub> nas águas superficiais e o CO<sub>2</sub> da atmosfera tende a entrar para a água para promover novamente equilíbrio de gases entre os dois meios (água e ar).

Dessa maneira, o fitoplâncton contribui para a diminuição do excesso de gás carbônico na atmosfera. Embora esse processo, conhecido como ‘bomba biológica’, aconteça em diversas regiões marinhas, o fluxo de carbono para o fundo, no Oceano Antártico é conhecido como um dos mais altos do globo.

### **ZOOPLÂNCTON**

É um dos componentes do plâncton, constituído por um grupo bem diversificado de invertebrados que vivem na coluna d’água de oceanos, mares, rios e lagos. O zooplâncton caracteriza-se pela reduzida capacidade de locomoção, deslocando-se ao sabor das correntes, sendo a grande maioria invisível a olho nu. Tem importante papel na reciclagem de nutrientes nos oceanos ao alimentar-se de produtores primários (fitoplâncton) e, por sua vez, servir de alimento a organismos maiores. Inclui representantes de quase todos os filos marinhos.

De acordo com o tempo de permanência dos organismos no plâncton podemos dividir o zooplâncton em dois grandes grupos:

**Holoplâncton** (do grego plâncton permanente) – a esse grupo pertencem os organismos que permanecem no plâncton durante todo o seu ciclo de vida. O krill é o mais importante representante desse grupo em águas antárticas.

**Meroplâncton** (do grego plâncton temporário) – são aqueles organismos que somente em uma fase do seu ciclo de vida são planctônicos. Nesse grupo estão principalmente os estágios larvais de invertebrados marinhos bentônicos que possuem ciclo de vida com acoplamento pelágico-bentônico (larva pelágica associada a adulto bentônico). Cada grupo de organismos bentônico tem um tipo bem definido de larva, tornando assim possível identificar a ocorrência do grupo em determinada época do ano.

### **KRILL**

O krill é um crustáceo de grande abundância no Oceano Antártico. Semelhante a um camarão, o krill pode chegar a 5 ou 6 cm de comprimento e cerca de 1 a 2 gramas de peso, quando adulto. Estima-se que o número de krill no Oceano Antártico pode chegar a cerca de 600 bilhões e a sua densidade pode chegar a cerca de 19 milhões de indivíduos por quilômetro quadrado. O peso total do krill ultrapassa de longe o peso total de seres humanos na terra.

O krill tem distribuição circumpolar com áreas de maior concentração coincidentes com os principais giros de correntes oceânicas. Durante o verão, o krill se congrega em grandes cardumes, já tendo sido encontrados cardumes que ocupam áreas de 450 quilômetros quadrados com mais de dois milhões de toneladas. O krill desova no verão (dezembro a março) em águas costeiras, podendo, em uma única estação, desovar duas ou três vezes, cerca de dois mil ovos de cada vez. Os ovos em desenvolvimento afundam e são levados pelas correntes de água submarinas para águas bastante profundas em alto mar, onde eclodem.

Os filhotes vivem de suas reservas enquanto migram a caminho da superfície, onde devem continuar seu desenvolvimento. Ao chegarem à superfície, já são capazes de se alimentar de pequenas algas flutuantes. No ambiente natural, o krill vive cerca de três anos.

Durante o verão, o krill se alimenta principalmente de algas do plâncton, que são abundantes nessa época do ano graças à quantidade de luz solar. Durante o inverno, a produção de algas do plâncton é pequena devido a pouca ou nenhuma luz e ao fato de o mar estar coberto por uma camada de gelo que pode chegar a três metros de espessura. Nessa estação do ano, os indivíduos de krill dos grandes cardumes se dispersam e vivem de suas reservas, alimentando-se de detritos ou de algas que crescem embaixo do gelo.

Como dito anteriormente, o krill é um organismo-chave na trama alimentar do Oceano Antártico, canalizando a energia acumulada de algas aos consumidores de níveis tróficos mais altos. O krill serve de alimento para lulas, peixes, pingüins e outras aves voadoras, focas e baleias de barbatanas. Estima-se que a cada ano, cerca de 250 milhões de toneladas de krill são consumidas por esses animais. A vida de quase todos os animais antárticos é diretamente ou indiretamente dependente do krill.

## PEIXES

Existem milhões de peixes isolados geograficamente nos mares austrais, compostos pelo sul dos Oceanos Atlântico, Pacífico e Índico, que banham o continente Antártico, e em sua maioria, as espécies de peixes que habitam a região antártica são únicas no mundo, não sendo encontradas em nenhum outro lugar do planeta.

A subordem *Notothernioidei* tem 8 famílias, com 43 gêneros e 122 espécies. Até hoje novas espécies ainda estão sendo descobertas. Dessas 8 famílias, os *Nototherniidae*, ou bacalhaus antárticos, têm o maior número de espécies, seguidos pelos *Cannichthyidae*, mais conhecidos como peixes de gelo ou *icefish*.

Os peixes antárticos têm características surpreendentes. Resistem a temperaturas baixas de até  $-1,9^{\circ}\text{C}$ , mas morrem se ela se elevar acima de  $4$  ou  $5^{\circ}\text{C}$ .



Durante o período de evolução das espécies, acabou por aparecer nesses peixes antárticos uma proteína anticongelante, presente no sangue e nos líquidos do corpo, que garante sua sobrevivência a uma temperatura tão baixa.

A adaptação à variação da salinidade da água do mar, provocada pelo degelo, tanto das águas doces quanto do gelo marinho com a chegada do verão, é outro fator que chama a atenção, pois o peixe tem de ter mecanismos para ajustar a quantidade de sal em seus tecidos. Ele também tem de ter mecanismos para se orientar ou encontrar comida, tanto no verão, quando a luz é constante, quanto no inverno, quando é escuro durante as 24 horas do dia.

A família *Nototheniidae* possui 50 espécies, a maioria das quais vive próxima ao fundo do mar, tanto em regiões rasas e costeiras quanto em profundidades de até 3 mil metros. Apoiados no fundo do mar, entocados em fendas de rochas ou no meio de algas, muitos peixes dessa família são rápidos em atacar suas presas, que podem ser pequenos invertebrados, krill, peixes menores ou lulas. Alguns migram até a coluna d'água para se alimentar e raros são os que nunca se apóiam no substrato.

Para encontrar a presa no verão usam principalmente a visão, mas no longo e escuro inverno tem de contar com seus sentidos químicos como o olfato e o paladar para encontrar e selecionar o alimento. Assim, estocam nutrientes durante o verão, quando o alimento é abundante, para enfrentar a menor oferta de alimento durante a escuridão do inverno, que pode durar até 4 meses, dependendo da sua localização em relação ao pólo. Algumas espécies, principalmente a *Notothenia coriiceps*, suportam longos períodos de jejum.

Outra família que tem características únicas e interessantes é a *Channichthyidae*, os chamados de peixes do gelo ou *icefish* por ter aspecto branco e transparente como o gelo. Esses peixes têm uma característica muito peculiar, fruto da evolução do grupo, o sangue é transparente, pois não tem hemoglobina, o pigmento vermelho que é responsável por carregar o oxigênio. Como consequência todos os seus órgãos como, por exemplo, o fígado, o intestino, os músculos e as brânquias são esbranquiçados. Existem 15 espécies que habitam o fundo do mar ou a coluna d'água, dependendo de sua idade ou fase da vida. Alguns deles, como o *Champscephalus gunnari*, vivem na dependência do krill, acompanhando seus cardumes.

#### **1) CHAENOCEPHALUS ACERATUS – PEIXE GELO DE NADADEIRA NEGRA**

É um *Channichthyidae* que tem a cabeça grande, na forma de um bico de pato, e a boca ampla. Chama a atenção por ser muito sensível, resistindo por relativamente pouco tempo se for colocado em tanques. É capturado com rede de arrasto ou rede de espera, mas resiste pouco tempo com vida, depois de ficar emaranhado na rede. Parece ser apetitoso aos anfípodes que rapidamente

devoram sua carne, deixando apenas seu esqueleto. Alimenta-se de pequenos peixes e krill. Quando adulto, atinge cerca de 80 centímetros e quase 4 kg. Vive nas proximidades da Península Antártica e ao redor de ilhas subantárticas.

## 2) *NOTOTHENIA ROSSII* – BACALHAU DAS ROCHAS MARMOREADO

Por dois anos, esse *Nototheniidae* foi intensamente pescado comercialmente. Conseqüentemente, essa espécie quase desapareceu dos mares antárticos. Passados aproximadamente vinte anos, somente agora os estoques estão começando a dar sinais de recuperação, mas sua pesca continua proibida. O adulto atinge cerca de um metro pesando 10 quilos e vive ao redor de ilhas e na região da Península Antártica, os jovens vivem em fiordes rasos. São considerados bento-pelágicos, o que significa que repousam no fundo do mar, mas migram para a coluna d'água para se alimentar.

## 3) *NOTOTHENIA CORIICEPS* – BACALHAU DAS ROCHAS DE BARRIGA AMARELA

É um *Nototheniidae* extremamente resistente às alterações ambientais. Esses peixes alimentam-se de qualquer coisa que apareça em sua frente, mas sua preferência alimentar está no krill e em pequenos peixes. São também capazes de suportar jejum de até 80 dias, sem maior sofrimento. Não são alvo da pesca comercial, podendo, entretanto ser capturados acidentalmente por pesca de arrasto de fundo. Ficam dispersos e muitas vezes entocados no fundo do mar, em profundidades de até 550 metros e podem atingir o tamanho de 60 centímetros. São circum-antárticos vivendo na plataforma continental e em volta das ilhas. São semelhantes a *Notothenia neglecta*, porém ligeiramente menores e bento-pelágicos. Estudos de genética molecular estão em andamento para determinar se esses peixes pertencem a duas espécies distintas ou não.

## 4) *DISSOSTICHUS ELEGINOIDES* – MERLUZA NEGRA OU MERLUZA DA PATAGÔNIA

Da família *Nototheniidae*, essa espécie é muito visada para pesca comercial por muitos países – e até por pesca ilegal –, pois atinge mais de dois metros de comprimento e sua carne é muito saborosa. Vivem entre 50 e 3,8 mil metros de profundidade e ocorrem também ao largo da Argentina, do Chile e das ilhas subantárticas, sempre em regiões de plataformas submarinas. Sua pesca é monitorada para evitar sua extinção. Também as técnicas de captura são regulamentadas, a fim de evitar a captura acidental de aves, como os albatroz, ameaçadas de extinção. É semelhante à espécie *Dissostichus mawsoni* ou Merluza Antártica, que ocorre entre 0 e 1,6 mil metros, sendo um pouco menor e mais freqüente em latitudes mais altas.

## 5) *CHAMPSOCEPHALUS GUNNARI* – CAVALA DO GELO

Essa espécie é um *Channichthyidae* pelágico que vive nas proximidades das ilhas subantárticas e da Península Antártica. Quando adultos, podem

atingir 60 cm de comprimento. Alimentam-se de krill na região Austral do Oceano Atlântico e de misidáceos no Pacífico e no Índico Sul. São pelágicos e estão sempre associados a cardumes de suas presas, acompanhando os seus deslocamentos.

#### 6) *PLEURAGRAMMA ANTARCTICUM* – PEIXE PRATEADO ANTÁRTICO

É a única espécie dos *Nototheniidae* verdadeiramente pelágica, ou seja, que nunca fica em contato com o fundo do mar, em águas antárticas. Vivem desde 0 até 780 metros de profundidade e são fortemente associados a cardumes de krill. Às vezes é pescado comercialmente.

#### 7) *PARACHAENICHTHYS CHARCOTI* – PEIXE VERMELHO DO GELO

São *Bathydraconidae* que chamam a atenção por ter o corpo de uma cor viva, vermelha, e por ter forma muito semelhante à dos peixes do gelo de nadadeira negra, entretanto, seu sangue é vermelho. São encontrados na região da Península Antártica e ao redor de algumas ilhas. Alimentam-se de pequenos crustáceos, krill e pequenos peixes.

O comportamento e a ecologia dos peixes antárticos podem ser estudados pela histologia e pela ultra-estrutura dos órgãos que compõem esses animais. As estruturas sensoriais e digestórias são exemplos disso, podendo as estratégias alimentares desenvolvidas pelas espécies ser avaliadas, o que possibilita análises comparativas entre espécies e *habitats*.

Muitos peixes antárticos possuem, por exemplo, características celulares nos sistemas fotorreceptor (retina), quimiorreceptor (rosseta olfatório, narinas e lábios) e mecanorreceptor (linha lateral) que possibilitam interações com o meio ambiente, envolvendo mecanismos de defesa, a procura de alimento e de parceiros para a reprodução, entre outros. Estudos morfofuncionais têm sido feitos com várias espécies de peixes antárticos, *Notothenia coriiceps*, *Trematomus newnesi*, *Gobionotothen gibberifrons*, *Lepidonotothen nudifrons* e *Pleuragramma antarcticum* são alguns exemplos.

A retina do *Notothenia coriiceps* possibilita que esse animal tenha maior pico de atividade nos períodos escuros. Isso está relacionado com a sua dieta alimentar, na qual as suas presas possuem maior atividade noturna ou com a necessidade de proteção dos predadores, como as aves e as focas, de maior atividade diurna. Já em *Trematomus newnesi*, ocorre predomínio da capacidade química para a detecção do alimento. A ultra-estrutura do sistema digestório permite inferir sobre a posição das espécies na cadeia alimentar e identificar adaptações radiativas e convergentes relacionadas com a alimentação. Características anatômicas do aparelho digestório podem refletir a íntima relação entre a natureza do alimento ingerido e a estrutura e função do trato digestório.

## AVES

Aves são vertebrados com ampla distribuição geográfica. O grupo inclui algumas espécies adaptadas para climas tão quentes quanto o desértico e outras adaptadas a climas tão frios quanto os polares. Caracteristicamente, o continente antártico apresenta um baixo número de espécies – no caso das aves marinhas são cerca de 35 – porém o número de indivíduos de cada espécie é sempre muito alto. No caso dos pingüins, algumas colônias reprodutoras chegam a ter mais de 1,5 milhões de indivíduos. Outra característica dessas aves é a migração: durante o período de reprodução (verão no Hemisfério Sul, para a maioria das espécies) elas estão no continente antártico, durante o inverno antártico, em que as temperaturas são praticamente insuportáveis, elas migram em direção ao Norte, algumas delas, como é o caso das gaivotas-rapineiras chegando até o Nordeste do Brasil.

Além da presença de uma camada de gordura sob a pele, outra adaptação ao frio é que essas aves conseguem manter entre as penas e seu corpo uma fina camada de ar que serve como isolante térmico. Também apresentam uma glândula de óleo muito desenvolvida (glândula uropigiana) próxima da base da cauda, que é usada para impermeabilizar as penas antes de entrar em contato com a água, evitando molhá-las e resfriar o corpo. Além disso, as partes expostas como bicos e pés praticamente não apresentam vasos de transporte sanguíneo, evitando o resfriamento do sangue e a perda de calor por essas áreas.

Os pingüins, aves que melhor caracterizam o ambiente antártico, (ordem *Sphenisciformes*), são as que apresentam as maiores modificações morfológicas, sendo muito bem-adaptadas ao ambiente marinho. Têm corpo hidrodinâmico, patas palmadas e asas transformadas em aletas que servem como remos durante o mergulho. Muitos podem submergir por 5 a 7 minutos, conseguindo o pingüim-imperador (com cerca de 140 cm), – a maior das espécies – mergulhar por 18 minutos, atingindo até 630 m de profundidade. Alimentam-se de krill, peixes e outros pequenos crustáceos que capturam no mar durante o mergulho. Das 17 espécies que existem no mundo, sete utilizam ilhas subantárticas e o continente antártico para reproduzir-se e quatro se reproduzem exclusivamente no ambiente antártico: pingüim-imperador (*Aptenodytes forsteri*), pingüim-antártico (*Pygoscelis antarctica*), pingüim-adélia (*P. adeliae*) e pingüim-papua (*P. papua*). Depois do período de reprodução e antes da migração, os pingüins se isolam para fazer a muda das penas velhas que já perderam a impermeabilidade e a resistência. Os filhotes também trocam a penugem por penas e depois migram, retornando para as áreas de reprodução depois de três ou cinco anos no mar. Vivem de 15 a 20 anos.

A maioria das espécies de aves na Antártica é voadora e entre elas podemos destacar as gaivotas-rapineiras ou skuas (*Catharacta sp.*), o gaivotão (*Larus dominicanus*), o trinta-réis-antártico (*Sterna vittata*) e a pomba-antártica (*Chionis alba*) (Charadriiformes); os albatrozes e os petréis (*Procellariiformes*) e o biguá-de-olhos-azuis (*Phalacrocorax atriceps*) (Pelecaniformes).

As maiores espécies encontram-se entre os albatrozes, que chegam a ter quatro metros de envergadura (medida com as asas abertas), como o albatroz-errante (*Diomedea exulans*). São 13 espécies, com uma população estimada de 750 mil pares reprodutores. Os albatrozes vivem a maior parte de suas vidas no mar e começam a se reproduzir por volta dos 10 anos, podendo viver cerca de 85 anos.

Entre as aves que se alimentam de ovos e filhotes de outras aves, principalmente de pingüins, podemos incluir as gaivotas-rapineiras, o gaivotão e o petrel-gigante (*Macronectes giganteus*). Já a pomba-antártica vive nas proximidades das colônias de pingüins e se alimenta de fezes – ricas em proteínas – e de restos de ovos ou cadáveres de pingüins – dessa maneira elas “limpam” o ambiente.

A cadeia trófica antártica é muito simplificada, suportando uma pequena quantidade de espécies, porém com números populacionais elevados. Por ser simples, também é extremamente frágil e vem mostrando alterações que provavelmente estão relacionadas às mudanças ambientais globais. Tais alterações põem em risco não só as aves que fazem parte desse ambiente único, mas todo o ecossistema.

## MAMÍFEROS MARINHOS

Os mamíferos marinhos representam um grupo de vertebrados terrestres que voltaram ao meio aquático há mais ou menos 58 milhões de anos. Apesar de viverem no meio aquático (mares e oceanos), os mamíferos marinhos ainda preservam características específicas dos mamíferos terrestres (respiração pulmonar, fecundação interna, homeotermia e lactação), apesar de viverem muito tempo ou todo o tempo na água. Trata-se de um grupo diverso quanto às suas origens, às formas e às especializações. Nesse grupo encontramos os cetáceos (baleias e golfinhos), os pinípedes (focas, lobos e leões-marinhos e morsas), os sirênios (os peixes-boi), os mustelídeos (as lontras) e, segundo alguns autores, os ursos polares.

Os mamíferos marinhos adaptaram-se às flutuações extremas do ambiente físico e biológico do Oceano Austral, apresentando ciclos de vida relativamente longos e suportando variações na abundância de alimento em

escalas de tempo e espaço relativamente grandes. Como predadores de topo de cadeia, realizam grandes deslocamentos, percorrendo grandes distâncias, tendo, ainda, a capacidade de mergulhar até grandes profundidades por um período relativamente grande, de forma que o estudo do seu comportamento, sua alimentação e utilização do meio ambiente são importantes para avaliar a influência da variabilidade ambiental e climática sobre os organismos.

Nesse grupo, encontramos elefantes-marinhos (*Mirounga spp.*) e cachalotes (*Physeter macrocephalus*), mamíferos marinhos que realizam grandes migrações, mergulham sistematicamente a profundidades de até 1,5 mil metros e trafegam por regiões de difícil acesso a navios durante todo o ano. Esse comportamento faz com esse grupo seja um bom indicador das condições físicas e biológicas do ambiente, atuando como plataforma de monitoramento ambiental extremamente útil ao acompanhamento de mudanças nas condições climáticas e do ecossistema do oceano austral.

### **PINÍPEDES**

Os pinípedes (leões-marinhos, lobos-marinhos, focas e morsas) são mamíferos marinhos divididos em três grupos: os otarídeos, conhecidos popularmente como lobos e leões-marinhos; os focídeos, representados pelas focas verdadeiras, e os odobenídeos, representados pelas morsas. Os lobos e leões-marinhos têm orelhas e maior movimentação em terra, são mais ágeis, as focas verdadeiras não têm orelhas e são menos ágeis em terra, rastejando como minhocas e as morsas vivem apenas no Hemisfério Norte e possuem um par de dentes muito grandes modificados na forma de presas, como os elefantes. Os pinípedes estão adaptados a viver tanto na água como em terra e são um grupo bastante diverso. Acredita-se que existam pelo menos 21 gêneros e 34 espécies diferentes no mundo atual.

Os pinípedes surgiram há mais ou menos 25 milhões de anos (durante o período Oligoceno ou Mioceno) a partir de carnívoros terrestres como os ursos e as lontras. Têm dentes com formatos diferentes (incisivos, caninos e pós-caninos), alimentam-se de peixes, crustáceos e lulas e se reproduzem em terra. Têm apenas um filhote por vez, podendo viver cerca de 20 a 25 anos e possuem grossa camada de gordura e de pêlos que os ajuda a manter constante a temperatura do corpo.

Até 1997, a ocorrência de pinípedes nas praias da Ilha Elefante, Shetlands do Sul, havia sido registrada de maneira não-sistemática, não-padronizada e sem a preocupação de determinar o número total de indivíduos, assim como a composição desses grupos. No verão de 1997/1998 foram iniciados estudos sistemáticos de contagem e identificação dos indivíduos, levantamentos da composição dos grupos, assim como estudos de diversos aspectos de sua

biologia, fisiologia e ecologia. Ao longo dos anos, cinco espécies de pinípedes vêm sendo observadas na Ilha Elefante, o elefante-marinho-do-sul (*M. leonina*), a foca-caranguejeira (*Lobodon carcinophagus*), a foca-leopardo (*Hydrurga leptonyx*), a foca-de-Weddell (*Leptonychotes weddelli*) e o lobo-marinho-antártico (*A. gazella*).

### **CETÁCEOS: AS BALEIAS E OS GOLFINHOS NA ANTÁRTICA**

Os cetáceos antárticos incluem as espécies residentes (por exemplo, o golfinho-ampulheta, e a baleia-bicuda-de-Arnoux) e migratórias (a maioria das baleias de “barbatana”). Na primavera, as baleias migratórias começam a se deslocar de regiões tropicais, onde se reproduzem, rumo à Antártica. Chegam à Antártica no início do verão para se alimentar e repor as reservas de energia (gordura), pois não se alimentam nas regiões tropicais.

As espécies migratórias são baleia-jubarte, baleia-azul, baleia-fin, baleia-sei, e baleia-minke e machos de cachalote (baleia de “dentes”). A razão vital para essa migração para a região Antártica durante o verão é a abundância de alimento, pois, para as baleias de barbatana o alimento prioritário – e o mais abundante – é o krill. A orca também é freqüente no verão antártico, contudo, alimenta-se principalmente de pingüins e focas, além de baleias de outras espécies.

O Brasil vem estudando a diversidade e a abundância de cetáceos na região da Península Antártica, além de estudos mais direcionados sobre a migração, o deslocamento, contaminação e o reconhecimento de indivíduos da baleia-jubarte, assim como o reconhecimento de indivíduos e a gravação de sons emitidos pela orca.

### **AMBIENTE MARINHO: ORGANISMOS BENTÔNICOS**

*Benthos*, do grego, significa profundidade. Na verdade, o *Bentos* representa o grupo de organismos vivos que vivem associados ao fundo de qualquer ambiente aquático. Esse fundo pode ser consolidado, como uma rocha, outro organismo vivo de consistência dura ou mesmo o casco de uma embarcação; ou não consolidado, caso dos fundos de sedimento, como areia e lama. O ambiente bentônico antártico apresenta dois extremos de estabilidade: uma zona costeira, sujeita a perturbações grandes e irregulares pelo gelo, resultando em um *habitat* imprevisível para a vida marinha, e uma região de extrema constância abaixo dessa faixa, comparável às cavernas marinhas e ao oceano profundo.

Na comunidade bentônica encontramos desde microrganismos até aqueles que consideramos como organismos de megafauna. O tamanho dos organismos bentônicos é variável e depende do grupo considerado, da região e profundidade que habitam. Além dos microrganismos, que incluem, por exemplo, as bactérias e os foraminíferos, outros organismos que compõem

a fauna bentônica podem ser classificados quanto a seu tamanho em meio-fauna, macrofauna e megafauna.

Os organismos bentônicos apresentam mobilidade variável e isso depende muito do grupo considerado, da escala de tamanho e do tipo de associação com o fundo marinho. Há organismos que são sésseis (fixos), outros que são sedentários (têm habilidade de locomoção, mas adotam hábito de menos deslocamento), e há os que são vageis (com maior habilidade de locomoção). Também podem viver sobre o fundo (epifauna, epiflora) ou sob o fundo, dentro do sedimento entre os grãos de areia e pequenos grãos da lama (endofauna).

Nem todos da fauna bentônica passam toda a sua vida no fundo. Há aqueles, especialmente invertebrados da macrofauna e megafauna, que possuem uma fase de sua vida no ambiente pelágico, quando ainda na forma de larvas, ou mesmo aqueles que são extremamente dependentes do fundo para viver, dependem dele para sua alimentação, para atividades reprodutivas entre outras, mas que também têm habilidade de nadar ativamente, como alguns peixes demersais e invertebrados e são considerados bento-pelágicos.

As comunidades bentônicas antárticas estão envolvidas em ciclos biogeoquímicos de muitos compostos presentes nos fundos marinhos e na coluna d'água. O *Bentos* tem um papel importante nas teias alimentares como fonte de alimento para organismos pelágicos e demersais. Além disso, os organismos bentônicos também podem auxiliar na mobilização de nutrientes e carbono, especialmente das camadas superficiais do sedimento para as camadas mais inferiores.

Na região Antártica, muitos organismos bentônicos são grandes e uma quantidade razoável de diversos grupos taxonômicos é bem conhecida especialmente nas regiões costeiras. No entanto, há muito a ser investigado ainda, especialmente nas zonas profundas.

Atualmente os ecossistemas bentônicos antárticos estão entre os menos perturbados do planeta. A relação entre a quantidade e a diversidade dos organismos bentônicos pode ser utilizada para avaliar se um ambiente está ou não sofrendo impacto ambiental. Na Antártica, impactos naturais, como a ancoragem de gelo, são mais comuns. Tendo o compromisso internacional com os países signatários do Tratado Antártico, o Brasil vem monitorando nossas atividades no entorno da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) para garantir que o ambiente seja preservado com o menor impacto humano possível. Por isso, pesquisadores brasileiros vêm realizando avaliação temporal dos organismos bentônicos e sua relação com o meio ambiente na zona costeira rasa para verificar se o esgoto produzido na frente da EACF afeta a fauna bentônica. Esses estudos têm mostrado que o impacto do esgoto é pontual,



restringindo-se às proximidades da EACF, sendo realmente o maior impacto à fauna bentônica aquele causado pelo próprio gelo antártico.

Ainda não se compreende bem o papel das águas antárticas no transporte e dispersão de espécies bentônicas para outros oceanos. Sabe-se que, de modo geral, muitas espécies bentônicas de zonas costeiras rasas e de plataforma continental são endêmicas da região Antártica, sendo várias espécies circumpolares (ocorrem no entorno de toda a antártica). É provável que espécies que habitam zonas mais profundas das margens continentais e zonas abissais tenham sido capazes de se dispersar para outras partes do planeta em função da movimentação das massas d'água de fundo que deixam a frente polar em direção ao Norte para todos os oceanos. Acredita-se que o Oceano Austral possua papel de semeador de espécies bentônicas profundas, já que se conecta com os oceanos de todo o mundo, mas isso ainda está sendo investigado por pesquisadores de vários países, inclusive o Brasil.

As populações bacterianas podem alcançar níveis de biomassa extremamente altos. Entretanto, a produtividade é baixa e as comunidades bentônicas microbianas são provavelmente muito antigas. Os processos microbianos que ocorrem nos *Bentos* incluem taxas muito baixas de fotossíntese, heterotrofia bacteriana, metabolismo dos protozoários e quimiossíntese. Além disso, microrganismos capazes de realizar reações especializadas dos ciclos do carbono, do nitrogênio e do enxofre estão presentes nos ambientes marinhos antárticos.

A comunidade bentônica é rica em espécies e abundância e sua estrutura trófica envolve uma teia alimentar complexa. Detritos provenientes de algas e do fitoplâncton são a principal fonte de carbono e energia, embora as partículas possam ser modificadas consideravelmente pelas bactérias aderidas antes de alcançarem o fundo do mar. Os foraminíferos também têm um papel importante como ligação entre as bactérias ou compostos orgânicos dissolvidos associados à decomposição do fitoplâncton e os animais maiores. As diatomáceas constituem ainda uma via direta de transporte de carbono e energia das microalgas para os animais maiores. Merecem destaque também os gêneros de bactérias redutoras de sulfato, *Desulfovibrio* e *Desulfobacter*, que chegam a compreender de 1-2% e 5-10% da biomassa microbiana total, respectivamente.

## FITOBENTOS E MICROFITOBENTOS

Os fitobentos e os microfitobentos são na verdade macroalgas e microalgas bentônicas, respectivamente, que dependem da luz para sua existência, portanto somente ocorrem em áreas onde a penetração de luz é possível e até no máximo em torno de 200 m de profundidade, dependendo da época do ano (verão ou inverno) e da região do planeta considerada. O termo microfitobentos refere-se a algas eucariontes unicelulares, principalmente

diatomáceas penadas, fitoflagelados e cianobactérias que vivem nos primeiros milímetros dos sedimentos no assoalho marinho.

Os microfítobentos podem representar uma importante fonte alimentar para organismos da fauna bentônica que processam material sedimentado. A microflora que vive nos sedimentos apresenta altos valores de biomassa e serve como a principal fonte alimentar para alguns invertebrados depositívoros e também para a meiofauna. Já foi observada uma correlação entre a densidade da macrofauna bentônica e a produtividade microfítobentônica em áreas submersas da Antártica, o que depende da intensidade de luz que atinge o fundo.

### MEIOFAUNA

A meiofauna é constituída de pequenos animais, que passam por uma peneira de malha de 0,5 mm e ficam retidos numa outra de 0,062 mm. Dentre os grupos taxonômicos que compõem essa fauna, encontramos em maior abundância os *Nematoda* e *Copepoda Harpacticoida*. Essa fauna atua na remineralização da matéria orgânica e no transporte de solutos entre as camadas superficiais do sedimento. Tem papel importante nas tramas tróficas, alimentando-se de bactérias, do microfítobentos, de fitodetrítos e principalmente de matéria orgânica dissolvida, constituindo alimento para a meiofauna predadora, a macrofauna, para peixes e crustáceos decápodes jovens. Sua produção secundária pode exceder a da macrofauna em alguns sistemas.

Em função de suas características, tais como tamanho pequeno, mobilidade limitada, ciclo de vida curto e inteiro no sedimento, estratégia reprodutiva sem fase de dispersão larval, íntima associação e dependência com o ambiente sedimentar (sedimento e água intersticial), esse tipo de fauna vem sendo utilizada para monitoramento ambiental. Até o início da década de 1990, pouco se conhecia sobre a meiofauna antártica e o Brasil tem contribuído significativamente para a melhor compreensão desses organismos na região.

### MACROFAUNA

A macrofauna é constituída de organismos pequenos, cujo tamanho geralmente é superior a 1 mm e, no máximo, inferior a 2 cm, ficando retidos numa malha de 0,5 mm em se tratando daqueles presentes em regiões rasas das plataformas continentais. Em zonas profundas, o tamanho dos organismos da maioria dos táxons, normalmente considerados como sendo de macrofauna, é inferior, sendo uma malha de 250-300 utilizada para reter esse tipo de fauna. A macrofauna é composta por animais que podem habitar tanto a superfície do substrato (epifauna) como os interstícios do sedimento (endofauna). Os principais organismos da endofauna pertencem a grupos como *Annelida*, *Mollusca* e *Crustacea* e, geralmente, excluem grupos tipicamente pertencentes a meiofauna, como *Nematoda*, *Ostracoda* e *Copepoda*.

Na Ilha Rei George, Baía do Almirantado, onde o Brasil possui a estação de pesquisa EACF, a macrofauna de fundo não consolidada é constituída, na sua maioria, por oligoquetos, poliquetos, moluscos bivalves e crustáceos como anfípodos, cumáceos e isópodes.

## MEGAFUNA

A megafauna constitui-se de animais relativamente grandes, geralmente acima de 2 cm e que podem ser facilmente observados a olho nu ou por meio de fotografias. A megafauna antártica apresenta uma contribuição significativa para a biomassa bentônica, já que muitos componentes da megafauna são consideravelmente grandes, além de também serem importantes na transferência de energia e de matéria dentro do sistema bentônico.

Na Baía do Almirantado e nas proximidades da EACF, por exemplo, a maior parte da megafauna é composta por organismos sésseis pertencentes a epifauna, como esponjas, ascídias e cnidários e por organismos sedentários ou vageis como estrelas, crustáceos, nemertinos, ouriços-do-mar e nudibrânquios. Alguns desses organismos são encontrados enterrados no sedimento, como alguns bivalves de grande porte, poliquetos e ofiuróides.

Especialmente os organismos de megafauna sésseis são mais sensíveis a distúrbios ambientais, principalmente aqueles relacionados à ação mecânica do gelo. Conseqüentemente, na região Antártica, essa fauna é extremamente pobre nos primeiros 15 a 20 m de profundidade, onde a freqüência desses distúrbios é elevada, sendo mais abundante e rica a partir dos 30-40 m de profundidade.

Nas áreas mais rasas, predominam fundos de seixos sobre sedimento arenoso e na praia são encontrados, com grande freqüência e abundância, fragmentos de macroalgas depositados pelas marés e ressacas, sendo a epifauna praticamente ausente. Nessas áreas, geralmente predominam organismos vageis como o molusco gastrópode *Nacella concinna*, vários anfípodes (*Gondogeneia antarctica*, *Paramoera walkeri*, *Bovallia gigantea*) e o isópode *Serolis polita*.

A faixa entre 15 a 20 m caracteriza-se pela topografia peculiar constituída de vales e montes escavados pela parte inferior de icebergs (*ice-scours*). A fauna constitui-se de poucas formas sésseis. Já aos 25 metros, o fundo se torna mais plano e os sedimentos, um pouco mais finos, chegando a argilo-siltosos. O molusco bivalve *Lanternula elliptica*, comum na região antártica, é mais abundante nessa profundidade. As formas sésseis, como esponjas, ascídias e actínias, assim como o isópodes, ofiuróides e algumas estrelas-do-mar atingem sua maior densidade. As condições mais estáveis nessa faixa batimétrica permitem uma fauna mais diversa. Abaixo dos 30 m, ascídias, briozoários e esponjas são encontradas em grandes concentrações e também octocorais.

As espécies de megafauna encontradas na Baía do Almirantado, onde a maior parte dos estudos bentônicos brasileiros foi realizada, são similares àquelas observadas em outros pontos da região Antártica, podendo a diferença encontrada entre regiões estar relacionada ao fato de que esse tipo de fauna varia em resposta a diferentes condições ambientais, principalmente no que diz respeito ao tipo e às propriedades do fundo, além das condições de dinâmica da água.

#### UM GRUPO BENTÔNICO DE DESTAQUE: OS ANFÍPODAS

Os anfípodos são crustáceos muito abundantes no Oceano Antártico, nas regiões costeiras e também profundas. Suas diversas espécies ocupam quase todos os ambientes e possuem hábito alimentar bastante diversificado. Existem espécies suspensívoras, depositívoras, necrófagas, predadoras, herbívoras, entre outras. Devido a essas características, esses animais têm grande importância ecológica nos mares austrais, desempenhando papel importante na trama trófica. Os anfípodos servem como fonte básica de alimento para muitas espécies de peixes e outros animais, tais como os cefalópodos e as aves.

Várias espécies de anfípodos, como os necrófagos, têm também papel de destaque na reciclagem de matéria orgânica do sistema, devido a seus hábitos alimentares. Em extensas regiões das áreas livres de gelo no Oceano Antártico, algumas espécies de anfípodos parecem desempenhar papel semelhante ao do krill, devido a sua grande abundância.

A maioria das espécies estudadas até hoje possui metabolismo bastante baixo, o que é uma forma de economizar energia em locais frios, onde a produção é marcadamente sazonal. Talvez devido a esse fato, várias espécies de anfípodos antárticos têm vida longa e atingem tamanho relativamente grande em comparação com espécies semelhantes de regiões temperadas e tropicais. Como são de fácil coleta e sobrevivem bem em cativeiro, os anfípodos antárticos são animais muito adequados para pesquisa científica em laboratório, tanto para estudos ecofisiológicos quanto de monitoramento ambiental.

# CUIDADOS COM O MEIO AMBIENTE





# CUIDADOS COM O MEIO AMBIENTE

## FRAGILIDADE DO AMBIENTE ANTÁRTICO

O maior valor da Antártica talvez resida na informação crucial que pode nos fornecer sobre o funcionamento e saúde do planeta.

A região Antártica é a maior área selvagem natural que resta no Planeta. Sua natureza é a mais livre da influência humana de todas as regiões da Terra.

As formas de vida existentes sobrevivem na periferia do continente e no oceano que o rodeia. O equilíbrio do ecossistema é consequência de um longo processo adaptativo e evolutivo. A vida terrestre na Antártica está restrita aos 2% de terra que ficam descobertos de gelo no verão, principalmente na zona costeira. A maioria das plantas e dos animais é dependente, direta ou indiretamente, do oceano austral, rico em nutrientes.

O ambiente marinho antártico é caracterizado por apresentar temperaturas baixas estáveis e por ser altamente sazonal no que diz respeito, principalmente, à luminosidade e à presença de gelo, resultando assim em sazonalidade da produção primária, ou seja, na produção básica de alimento, o que consequentemente afeta todo o resto do ecossistema. Essas condições sugerem uma seleção dos padrões alimentares, reprodutivos, bioquímicos e comportamentais dos organismos que ali vivem. Outra característica do meio ambiente antártico marinho é o alto grau de endemismo que apresenta, ou seja, devido à baixa capacidade de dispersão e à baixa tolerância a condições ambientais adversas, muitos dos organismos que vivem nos fundos marinhos, debaixo do gelo, são únicos, só ocorrem ali.

Apesar da aparente ausência de vida nas áreas emersas da Antártica, as comunidades biológicas marinhas são ricas e diversas. O ecossistema marinho abriga populações de baleias, focas, aves, peixes e uma diversidade fabulosa de invertebrados que, em alguns locais, pode ser tão alta quanto em recifes de coral localizados em regiões tropicais.

Diversa e especial, a vida na Antártica é, no entanto, muito frágil e susceptível a mudanças globais. Os organismos antárticos têm tolerância muito baixa a alterações na temperatura, sendo vulneráveis ao aquecimento global. O crescimento do fitoplâncton, base da cadeia alimentar, é inibido por raios UV-B, que ultrapassam a barreira protetora da camada de ozônio, quando essa é destruída. Muitos organismos marinhos antárticos são também

conhecidos por terem crescimento muito lento, e impactos ambientais naquela região podem ter consequências irreversíveis uma vez que a comunidade levaria muito tempo para se recuperar. Algumas não se recuperam jamais.

## DA DESTRUIÇÃO À PRESERVAÇÃO

No imaginário popular, a idéia que se tem é que a Antártica está preservada, prístina, intocada, como se o poder de destruição do ser humano não tivesse chegado lá. No entanto, hoje, a Antártica é preservada porque foram criados mecanismos para isso, mas no passado ela sofreu diversas alterações. Duzentos anos atrás, quando os primeiros homens avistaram uma quantidade considerável de baleias e focas nas águas antárticas, o que viram foi uma grande fonte de riquezas, e para eles, inesgotável.

A Antártica sempre foi e ainda é “terra de ninguém”. Assim, como se pensava no passado, se não era de ninguém, poderia ser conquistada. A partir do momento em que se considerou a existência de um grande continente austral, esse virou objeto de desejo dos grandes exploradores e aventureiros.

Os grandes caçadores de baleias e focas foram atraídos para aquela região. Para esses caçadores, a Antártica era um lugar perigoso e desagradável, mas que oferecia vultosas recompensas financeiras, ao menos por breve período. Era um lugar para ser pilhado e explorado, o que fizeram com eficiência mortal e sangrenta.

Até expedições científicas eram desculpas para a exploração econômica. Quando esgotavam uma região, partiam em busca de novas áreas de caça, e foi assim que a região Antártica foi sendo conhecida. Focas foram exploradas pelo óleo e pela pele. Existem relatos de que mais de 3 milhões de peles de focas foram retiradas das ilhas sub antárticas num período de sete anos.

James Weddell, ainda em 1820, estimou em 320 mil o número de peles levados em duas estações, além de 940 toneladas de óleo de elefante-marinho. Mais de 100 mil filhotes morriam a cada estação devido à morte de suas mães. Weddell foi um dos primeiros a propor a preservação e estabeleceu um limite de 100 mil focas a cada temporada. Por causa de sua pele, o lobo-marinho esteve à beira da extinção, no século XIX, quando a espécie foi reduzida a poucas centenas de indivíduos.

No início do século XX foi a vez das baleias. A primeira estação baleeira se estabeleceu na Antártica em 1904, colocada por uma companhia norueguesa. Só na temporada de 1909/1910 um total de 6 mil baleias foram retiradas das ilhas Geórgia do Sul e Deception. Entre 1904 e 1993, 2,32 milhões de baleias foram caçadas. A caça comercial dizimou os estoques a uma pequena fração do



estoque original. Acredita-se que 97% da população original de baleias-jubarte foram caçadas e que somente 1% da população de baleia azul ainda exista.

No final do século XVIII e início do século XIX, o óleo de baleia e de elefante-marinho lubrificava máquinas, iluminava as ruas de vilas e cidades, os lampiões e as lamparinas das casas e era usado até em cosméticos e perfumes. As peles dos lobos-marinhos e os ossos e barbatanas das baleias também tinham ampla utilização, fonte de carne para alguns países europeus e asiáticos. Nessa época, a Antártica não passava de um local inóspito, desagradável, e cujo único benefício para a humanidade eram as riquezas de suas águas.

Mas com o tempo e com a evidência cada vez maior da degradação que ocorria, esse quadro começou a reverter e mecanismos de proteção começaram a ser criados. Dentre esses mecanismos se destacam: a Comissão Internacional da Baleia (1946), o documento Medidas de conservação da flora e fauna (1964), Convenção para a conservação das focas antárticas (1972), Convenção para a conservação dos recursos vivos marinhos antárticos (1980) e o Protocolo ao Tratado da Antártica de proteção ao meio ambiente antártico – Protocolo de Madri (1991).

Esses mecanismos mudaram novamente o curso da história da Antártica e proporcionaram exemplos de verdadeiro sucesso na recuperação de danos passados. O exemplo mais evidente foi a recuperação das populações de lobo-marinho, uma espécie ameaçada de extinção e que, hoje, chega a ter problemas de superpopulação.

Assim, apesar de o ecossistema antártico ter sofrido perturbações ambientais no passado, provocadas pela pesca comercial e pela caça a baleias e focas, das quais ainda se recupera, são ainda as estruturas menos modificadas, sob o ponto de vista ambiental, de toda a superfície da Terra.

## MECANISMOS DE PROTEÇÃO

### COMISSÃO BALEEIRA INTERNACIONAL

Em 1946, foi criada a IWC, International Whaling Commission – Comissão Baleeira Internacional, com o objetivo de estudar as baleias e estipular cotas de caça. Imediatamente as baleias-francas, as cinzas e as jubartes foram protegidas. Foi proibida a caça em algumas áreas da Antártica; as baleias caçadas deveriam ter comprimento mínimo, e foi proibido matar fêmeas com filhotes.

Inicialmente, a IWC não atingiu o seu propósito e a caça prosseguiu, levando muitas espécies à beira da extinção. A caça comercial só cessou no final dos anos 60. Pressões crescentes levaram a IWC, em 1982, a determinar

uma moratória que passou a vigorar a partir de 1986. O Japão, alegando finalidades científicas, captura uma quota de baleias-minke e, recentemente, de baleias-fin, com permissão especial da IWC, motivo de muita polêmica no mundo inteiro. As espécies sobrevivem, hoje, graças a fortes pressões de grupos conservacionistas.

### MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO DA FAUNA E DA FLORA ANTÁRTICAS

Em 1964, foi elaborado pela ATCM (Antarctic Treaty Consultative Meeting) – Reunião das Partes Consultivas do Tratado da Antártica – o documento: “Medidas de conservação da fauna e da flora antárticas”. Foram adotadas medidas para proteger a fauna e a flora endêmicas e nativas, assim como regras para introdução de espécies endógenas. O documento também prevê áreas de especial interesse ecológico como áreas protegidas.

### CONVENÇÃO PARA A CONSERVAÇÃO DAS FOCAS ANTÁRTICAS

A Convenção para a Conservação das Focas Antárticas (CCAS) foi criada em 1972 com vista a estabelecer medidas de regulamentação da captura de focas, tanto para uso científico, quanto econômico. Algumas espécies de foca estão totalmente protegidas e limites de captura foram designados para as demais.

### UMA HISTÓRIA DE SUCESSO

O lobo-marinho é o melhor exemplo de sucesso de recuperação na história. Pela pelagem grossa que possuem, os lobos-marinhos eram muito procurados por caçadores e quase entraram em extinção no século XIX, quando

foram reduzidos a poucas centenas de indivíduos. A população começou a se recuperar quando as baleias foram muito caçadas, já que competiam com elas pelo krill. A recuperação se efetivou quando a espécie foi protegida pela CCAS, pelo Tratado da Antártica e pela legislação de vários países. Desde que começou a ser protegida, proliferou muito e hoje é encontrada em grande número. O tamanho da população total dessa espécie foi estimado em 1,5 milhões em 1990, e acredita-se que hoje chegue a mais de 4 milhões, com crescimento populacional de cerca de 10% ao ano.

Odair Freire



*O lobo-marinho é o melhor exemplo de sucesso de recuperação na história que, por sua pelagem grossa, eram muito procurados por caçadores e quase entraram em extinção no século XIX*

Alguns cientistas alegam que o crescimento considerável da população tem sido prejudicial, causando problemas ambientais, poluindo lagos e destruindo plantas na região subantártica. Outros alegam que, apesar do crescimento populacional, as focas são afetadas pelo aumento da pesca do krill, no oceano austral, ou pela competição pelo krill com outras espécies de mamíferos aquáticos, uma vez que é item importante da dieta do lobo-marinho.

Em 2006, por não ser mais considerada espécie ameaçada, o lobo-marinho foi retirado da lista de espécies especialmente protegidas do Anexo II ao Protocolo do Tratado da Antártica sobre Proteção ao Meio Ambiente. Apesar disso, a proteção da espécie não deve diminuir, pois, de qualquer maneira, todas as focas antárticas já estão protegidas pelo Protocolo e pela CCAS.

## CONVENÇÃO PARA A CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS VIVOS MARINHOS ANTÁRTICOS

Trata-se de acordo único e inovador sobre a utilização de recursos vivos. A Convenção para a conservação dos recursos vivos marinhos antárticos (*Convention for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources – CCAMLR*) foi adotada em 1982, pelo temor de que a pesca indiscriminada de krill, uma das espécies chave da cadeia alimentar marinha da Antártica, pudesse afetar baleias, focas, pingüins e outras espécies, direta ou indiretamente.

A convenção foi o primeiro instrumento internacional que adotou a abordagem ecossistêmica de manejo da pesca comercial – sugerindo que o krill e todos os outros recursos vivos do oceano austral sejam tratados como um sistema integrado no qual são levados em consideração todos os efeitos em predadores, presas e outras espécies e todas as decisões sobre os níveis de captura são tomadas com base em informação científica consistente. A CCAMLR determina espécies protegidas, delimita regiões e limites de pesca, regula a época e os recursos disponíveis para pesca e estabelece inspeção das pescarias.

Na década de 90, o foco da CCAMLR concentrou-se no desenvolvimento de mecanismos para gerenciar a pesca da merluza negra, um bacalhau de profundidade, especialmente com relação à pesca ilegal. No século 21, com a maioria da pesca na região sendo operada com medidas de conservação definidas pela CCAMLR, houve renovação do foco em krill, na depreciação de muitos dos grandes estoques mundiais e no aumento da frota de navios com capacidade de pesca em águas profundas. Além da preocupação com a pesca ilegal da merluza negra, outro problema é a pesca incidental de albatrozes em pesca com espinhel. A CCAMLR tem desenvolvido novos métodos e procedimentos para solucionar esse problema.

O Brasil é parte contratante da CCAMLR. Uma exigência da CCAMLR é que a pesca só pode ser desenvolvida na presença de observadores de bordo. O Brasil, apesar de ainda não ter iniciado atividades pesqueiras no Oceano Austral, possui um memorando de entendimento com o Governo do Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte, que possibilita o embarque de profissionais brasileiros nos navios de pesca ingleses.

## PROTOCOLO DE MADRI

Foi na revisão do Tratado da Antártica, em 1991, 30 anos após esse ter entrado em vigor, que o meio ambiente antártico se tornou aspecto prioritário. Mudou-se o foco de interesse na Antártica. Em vez de se discutir como dividir a Antártica, passou-se a estudar maneiras de preservá-la. Foi, então, criado um Protocolo ao Tratado da Antártica sobre proteção ao meio ambiente – Protocolo de Madri. A Antártica foi, então, designada uma *reserva natural dedicada à paz e à ciência*.

O Protocolo de Madri, que entrou em vigor em 1998, substitui e amplia as Medidas Acordadas para a Conservação da Fauna e Flora Antárticas, anteriormente adotadas pelas partes do tratado, proporcionando proteção ambiental a toda a região Antártica.

O protocolo recomenda que todas as atividades na Antártica sejam realizadas de maneira a reduzir ao mínimo o impacto da presença humana na região. Para atingir esse objetivo, estabeleceu princípios, procedimentos e obrigações que devem ser seguidos na execução de pesquisas científicas, no apoio logístico às estações antárticas, e nas atividades de turismo, visando à proteção da flora e da fauna da região. Impõe, também, rigorosas regras e limitações à eliminação de resíduos e medidas preventivas contra a poluição marinha. Requer a aplicação de procedimentos para avaliação do impacto ambiental das atividades desenvolvidas na região, inclusive aquelas não-governamentais.

As atividades a ser realizadas na área do Tratado da Antártica deverão ser planejadas e executadas de forma a limitar os impactos negativos sobre o meio ambiente antártico e os ecossistemas dependentes e associados. Devem ser preservados os valores intrínsecos da Antártica, inclusive suas qualidades estéticas, seu estado natural e seu valor como área destinada à pesquisa científica, especialmente à pesquisa essencial à compreensão do meio ambiente global.

A responsabilidade de velar pelo cumprimento das regras de proteção ambiental não é só dos Estados e Partes Consultivas do Sistema do Tratado

da Antártica, mas sim de todos os visitantes que adentrem aquele frágil continente e seus oceanos adjacentes.

Os procedimentos estão classificados em seis anexos ao Protocolo, assim definidos:

- I. Avaliação de impacto ambiental
- II. Conservação da flora e da fauna
- III. Gerenciamento de resíduos
- IV. Prevenção da poluição marinha
- V. Áreas especialmente protegidas e gerenciadas
- VI. Responsabilidades (ainda não ratificado)

## ÁREAS ANTÁRTICAS ESPECIALMENTE PROTEGIDAS OU GERENCIADAS

Armando Hadano



Embora o Protocolo de Madri assegure proteção global ao continente antártico, o Sistema do Tratado da Antártica considera que, por razões científicas, ambientais ou históricas, certas áreas devem ter proteção especial. Dessa forma, o protocolo define duas categorias de áreas protegidas:

## ÁREAS ANTÁRTICAS ESPECIALMENTE PROTEGIDAS (ASPA)

Essas áreas protegidas podem ser propostas por qualquer país membro do Tratado Antártico, pelo Comitê Científico Internacional para Pesquisas Antárticas (SCAR) ou pela Convenção para a Conservação dos Recursos Vivos Marinhos Antárticos (CCAMLR), que pertencem ao Sistema do Tratado Antártico. Cada área deve ter um Plano de Gerenciamento, com informações sobre valores, atividades de gerenciamento, descrição da área, código de conduta, sítios de especial interesse, regras e procedimentos que devem ser seguidos por todos os visitantes. Qualquer parte tem condições de realizar atividades dentro dessas áreas, sempre que conte com a permissão correspondente.

## ÁREAS ANTÁRTICAS ESPECIALMENTE GERENCIADAS (ASMA)

É uma categoria destinada a administrar regiões por intermédio de um plano de gerenciamento apropriado, nas áreas que coexistem atividades de muitas nações, a fim de evitar impactos cumulativos, conflitos de interesse, proteger valores e atividades científicas e aumentar a cooperação entre as nações que operam na área. Para ingressar em uma ASMA, não há necessidade de permissão.

## ATIVIDADES QUE REQUEREM PERMISSÃO ESPECIAL

- Utilização de substâncias radioativas para fins científicos
- Retirada ou intromissão de espécies antárticas
- Introdução de espécies não autóctones ao continente antártico
- Ingresso em Áreas Antárticas Especialmente Protegidas

## ATIVIDADES PROIBIDAS

- Explosões nucleares e lançamento de lixo ou resíduos radioativos.
- Qualquer atividade relacionada com recursos minerais, exceto a de pesquisa científica.
  - Descarga de óleo ou misturas oleosas, substância líquida nociva, material plástico ou qualquer outra forma de lixo no mar – restos de comida só podem ser eliminados no mar se devidamente triturados ou moídos.
  - Introdução, quer em terra, quer nas plataformas de gelo, quer nas águas da área do Tratado da Antártica, de qualquer espécie animal ou vegetal que não sejam autóctones da área do tratado, salvo quando objeto de licença.
  - Qualquer interferência nociva à fauna e à flora nativas, exceto quando objeto de licença. Essas incluem: vôos ou aterrissagens de helicópteros ou outras aeronaves que perturbem as concentrações de aves e focas; perturbação deliberada, por pedestres, de aves em fase de reprodução ou muda, ou das concentrações de aves ou focas; danos significativos às concentrações

de plantas terrestres nativas em decorrência de aeronaves, condução de veículos ou pisoteio; qualquer atividade que ocasione modificação desfavorável significativa ao *habitat* de qualquer espécie ou população de mamíferos, aves, plantas ou invertebrados nativos.

- Resíduos que não tiverem sido removidos ou eliminados, mediante remoção ou incineração, não serão eliminados em áreas desprovidas de gelo ou em sistemas de água doce.
- Introdução de difenis policlorados (PCBs), isopor ou pesticidas, exceto para fins científicos, médicos ou higiênicos.
- Ingresso nas Áreas Antárticas Especialmente Protegidas (ASPAs) sem permissão prévia.
- Dano, remoção ou destruição de sítios ou monumentos históricos.
- Queima de resíduos ao ar livre.

## OBRIGAÇÕES

- A quantidade de resíduos produzidos ou eliminados será reduzida, tanto quanto possível, de maneira a minimizar seu impacto sobre o meio ambiente antártico.
- Armazenamento, eliminação e retirada dos resíduos da área do tratado, assim como sua reciclagem e sua redução na fonte, serão considerações essenciais no planejamento e na execução de atividades na Antártica.
- Os resíduos removidos da Antártica serão, tanto quanto possível, devolvidos ao país que tiver organizado as atividades que geraram esses resíduos.
- Os sítios antigos e os atuais de eliminação de resíduos em terra, assim também os sítios de trabalho de atividades antárticas abandonados deverão ser limpos por quem houver gerado os resíduos.

## GUIA PARA VISITANTES NA ANTÁRTICA

Regras básicas que devem ser seguidas quando se visita a Antártica, seja como turista, seja como pesquisador ou como pessoal de apoio, de organização governamental ou não-governamental:

- Proteja a fauna e a flora antárticas*
- Respeite as áreas protegidas*
- Respeite a pesquisa científica*
- Siga as regras de segurança*
- Mantenha a Antártica preservada*

A área do tratado é uma zona especial de conservação, e para protegê-la foram adotadas medidas que têm como princípio básico:

**Princípio de conduta de mínimo impacto** – todos os visitantes do ambiente antártico, incluindo pesquisadores e turistas, têm a responsabilidade de reduzir ao mínimo o impacto da presença humana no ambiente antártico.

Dentre as recomendações destinadas aos visitantes na Antártica se destacam:

**Planejamento é fundamental.** Informe-se sobre as condições climáticas locais, sobre a localização de áreas especialmente protegidas e sobre os regulamentos pertinentes. Certifique-se de que você possui uma forma de acondicionar seu lixo, para trazê-lo de volta. Calcule o tempo total de duração da atividade externa.

**Você é responsável por sua segurança.** O salvamento no ambiente antártico é caro e complexo, podendo levar dias e causar grandes danos ao ambiente. Mantenha distância segura dos animais. Treine e relembre as técnicas básicas de segurança. Tenha certeza de que você dispõe do equipamento apropriado para cada situação. Não faça deslocamentos sobre o glaciário sem os necessários equipamento e experiência.

**Esteja atento durante deslocamentos e acampamentos.** Nos deslocamentos a pé, mantenha-se nas trilhas e nos caminhos preestabelecidos sempre que possível. Nos deslocamentos com veículos, utilize estritamente os caminhos preestabelecidos. Os danos causados ao solo e à vegetação, decorrentes da utilização de veículos, são muito maiores que aqueles causados pelo deslocamento de pedestres. Acampando, evite áreas frágeis.

**Mantenha a Antártica limpa.** Traga de volta todos os resíduos produzidos. Armazene o lixo de forma seletiva. Utilize as instalações sanitárias que existirem. Isopor, fertilizantes e pesticidas não podem ser utilizados e nem levados em bagagem pessoal. O uso de PVC também deve ser minimizado, principalmente embalagens.

**Respeite a pesquisa científica.** Não interfira com as pesquisas realizadas, nem remova equipamentos científicos ou placas de marcação.

**Respeite as áreas protegidas, os sítios históricos e os monumentos.** Esteja informado sobre a localização das áreas protegidas e sobre seus planos de manejo. Conheça os limites relativos à entrada na área e as atividades lá que podem ou não devem ser realizadas. Não danifique ou destrua sítios, monumentos históricos ou qualquer artefato a eles associados.

**Tome extremo cuidado com o fogo.** O fogo é um grande risco no ambiente antártico, devido à extrema secura do ar.



**Respeite a fauna e a flora.** Não dê alimento de nenhuma espécie aos animais. Não traga plantas ou animais que não sejam nativos para a Antártica. Observe os animais à distância. Minimize o seu impacto mantendo a distância.

**Deixe cada coisa em seu lugar.** Não construa nenhum tipo de estrutura sem autorização. Resista à tentação de levar “lembranças” para casa. Deixe pedras, ossos, conchas, etc. em seu local original. Não pinte ou grave nomes e inscrições em prédios, rochas ou qualquer outro local. Tire apenas fotografias, deixe apenas leves pegadas e leve para casa apenas suas memórias.

## RISCOS FUTUROS PARA A ANTÁRTICA

Crescentes atividades humanas na Antártica, principalmente as comerciais, como turismo e pesca, especialmente a ilegal, têm despertado preocupações, uma vez que colocam em risco a integridade dos valores naturais da região. Outros temas que também têm sido considerados ameaças ao meio ambiente antártico são a introdução de espécies exóticas, a identificação de doenças nas espécies nativas, a contaminação por poluentes e hidrocarbonetos de petróleo e a poluição e a acidificação dos oceanos, entre outros.

## TURISMO NA ANTÁRTICA

A indústria de turismo na Antártica começou no final dos anos 50, quando o Chile e a Argentina levaram mais de 500 turistas às Ilhas Shetlands do Sul, mas a atividade somente se estabeleceu em 1966, quando o tema educação ambiental foi incorporado ao slogan “você não pode proteger o que você não conhece”. Acreditava-se que vivenciar a Antártica levaria as pessoas a uma consciência ecológica, uma vez que passariam a compreender o papel importante que aquele ecossistema tem no ambiente global. O isolamento físico da região, as temperaturas extremas, o clima adverso e a vida selvagem peculiar são grandes atrativos ao turismo.

Apesar de o turismo na Antártica ser ainda muito caro, nos últimos 40 anos, várias operadoras aventuram-se na região. As visitas se concentram nas zonas livres de gelo nos meses entre novembro e março. Os visitantes fazem curtas incursões nas regiões costeiras, visitam estações científicas, monumentos históricos e colônias de animais. Entre as atividades estão incluídas também alpinismo, acampamento e mergulho. Alguns sítios recebem até 7 mil visitantes anualmente. O total de visitantes por ano, em toda a Antártica, já atinge o número de 30 mil pessoas. Os navios de turismo também transportam pesquisadores que desenvolvem trabalhos

científicos. A Associação de Operadores de Turismo Antártico (IAATO) cuida para que seus associados exerçam um turismo responsável. O turismo, quando bem controlado, pode ser exemplo de conduta consciente em ambientes naturais.

A preocupação recente com relação ao turismo é com o número de visitantes que tem aumentado vertiginosamente, assim como tem aumentado a variedade do tipo de turismo e os lugares visitados. Outra preocupação é com a instalação de infra-estrutura em terra, como hotéis, fato que tem pressionado a definição de medidas regulatórias. Diretrizes têm sido estabelecidas para controlar o turismo em áreas muito visitadas, com propostas de zoneamento, requerimentos para desembarque, limites na visitação, entre outras.

## EXPLORAÇÃO DE RECURSOS VIVOS

Em contraste com a pobreza da vida na terra, a vida nos mares austrais é complexa e abundante. Focas, peixes, lulas, krill e baleias constituem os recursos vivos mais conhecidos.

O maior estoque de baleias do planeta está no Hemisfério Sul e é constituído por cinco espécies principais: azul, fin, jubarte, sei e minke. Essas baleias migram para águas antárticas a fim de se alimentar durante o verão austral, retornando, durante o inverno, às águas de regiões temperadas e subtropicais, para reprodução.

Seis espécies de focas vivem em águas antárticas, das quais a foca caranguejeira é a mais abundante. Estima-se que a população dessa espécie esteja em torno dos 15 a 30 milhões de indivíduos.

O recurso mais abundante do oceano antártico é, entretanto, o krill, um crustáceo semelhante a um pequeno camarão. O krill é um dos elos principais da cadeia alimentar daquele ecossistema, vivendo em grandes cardumes na região epipelágica. Alimentando-se de fitoplâncton, o krill serve, por sua vez, de alimento para animais de níveis tróficos mais altos, sendo também considerado uma possível fonte de proteínas de alta qualidade para o consumo humano. Atualmente é capturado em quantidades relativamente pequenas.

As lulas constituem o principal grupo dos cefalópodes do oceano antártico. Devido a dificuldades de amostragem, a abundância desses animais é pouco conhecida. Servem como alimento para predadores vertebrados, tais como cachalotes, golfinhos, orcas, focas e aves. As lulas são também consideradas recurso de grande potencialidade para a pesca comercial.

Cerca de 270 espécies de peixes foram identificados ao sul da Convergência Antártica, a maioria das quais, endêmica. Doze espécies estão regularmente

sujeitas à exploração comercial. Embora os estoques de quase todas se situem em níveis considerados perigosos, algumas delas têm grande valor comercial e são ainda passíveis de exploração, desde que de forma sustentável.

## PESCA ILEGAL

A maior ameaça no Oceano Austral é a pesca ilegal, que está levando a merluza negra a situação de ameaça. Considerada um peixe muito valioso, a merluza negra pode render, por barco, um milhão de dólares por mês. Como as cotas permitidas pela CCAMLR são limitadas, algumas nações enveredam pela ilegalidade. A pesca ilegal também está matando incidentalmente grande número de aves, incluindo o já ameaçado albatroz.

A pesca, geograficamente concentrada, de krill pode resultar em perda de genes, com conseqüente diminuição da diversidade genética, comprometendo a habilidade da espécie de se adaptar a variações ambientais. Em casos extremos, a menor capacidade adaptativa tem como conseqüência a diminuição da abundância da espécie, podendo resultar em redução no número de seus predadores, na região em questão.

Uma das soluções apresentadas para controlar a pesca ilegal é a implementação de sistemas de monitoramento de embarcações por satélite, o que permitiria localizar barcos que operem pesca ilegal no Oceano Austral.

## RECURSOS MINERAIS E ENERGÉTICOS

Não obstante o constante interesse que o tópico indubitavelmente provoca, o potencial da Antártica quanto à presença de bens minerais economicamente aproveitáveis não está ainda adequadamente avaliado.

Referências à ocorrência de minerais metálicos e não-metálicos no continente antártico são, entretanto, freqüentes na literatura. Em alguns casos, como no do carvão mineral, a extensão geográfica e a espessura das camadas permite estimar a existência de volumes consideráveis desse combustível. Minerais do grupo da platina, identificados no extenso maciço ultramáfico de Dufek, nas montanhas Ellsworth, constituem outro exemplo, freqüentemente citado.

Mas, foi a possibilidade da existência de hidrocarbonetos, particularmente o petróleo, no continente austral, que atraiu a atenção internacional durante as décadas de 70 e 80. Sob o efeito da primeira grande crise energética que sacudiu o mundo, a atenção de governos e companhias de petróleo voltou-se para o imenso e inexplorado território antártico, convertido em possível fronteira exploratória.

A negociação do Protocolo de Madri interrompeu a tramitação internacional da Convenção sobre a Regulamentação sobre Atividades Minerais Antárticas, proibindo por 50 anos as atividades minerais no continente, a não ser as de cunho científico.

A despeito dessa circunstância, numa perspectiva de longo prazo, e tendo em conta a persistente instabilidade política do Oriente Médio e a volatilidade do mercado de petróleo, é lícito presumir que a avaliação da potencialidade em hidrocarbonetos da Antártica possa voltar a atrair a atenção internacional. Nessa circunstância, tornar-se crítica a disponibilidade de informações geológicas de interesse exploratório, especialmente as de natureza sísmica. As mesmas informações são também essenciais em pesquisas de natureza científica sobre a estrutura, a evolução geodinâmica e a estratigrafia da litosfera antártica, especialmente de sua margem continental, das quais basicamente não se distingue do ponto de vista metodológico.

Outro tema correlato, surgido nos últimos anos, também com potencial implicação econômica, refere-se à ocorrência de hidratos de gás. Esses são compostos semelhantes ao gelo, estabilizados sob pressão hidrostática, encontrada no ambiente oceânico profundo. Gás natural, em geral metano, é retido dentro do retículo cristalino do gelo, produzindo estabilização termodinâmica da estrutura. Os hidratos ocorrem em uma zona que se estende dentro dos sedimentos a partir da superfície do fundo marinho, até uma profundidade variável. Essa zona pode armazenar grande quantidade de metano e ocorre em todos os fundos oceânicos, especialmente nas regiões polares. O presente interesse internacional sobre esses depósitos baseia-se na possibilidade de seu aproveitamento como fonte de energia e na importante interação que os hidratos mantêm com a biosfera e a litosfera superior.

Finalmente, o maior recurso mineral do continente é a água potável, na forma do imenso manto de gelo (22,5 milhões de km<sup>3</sup> de água). Estudos para avaliar o aproveitamento comercial do gelo antártico, por meio do transporte de icebergs para costas áridas do planeta, foram realizados no início da década de 80. Naquela oportunidade, ficou clara a inviabilidade econômica da extração do gelo antártico com base na tecnologia existente. No entanto, a crescente escassez desse recurso deve manter o interesse sobre o assunto nas próximas décadas. Note-se que o gelo, um recurso renovável, não é especificamente citado no Protocolo de Madri.

Além desses recursos, são mencionadas, na literatura, ocorrências de cobre, prata, chumbo, cromita e minerais pesados, sem aparente importância econômica.

## ESPÉCIES INVASORAS

São inúmeros os casos de introdução de espécies exóticas ou invasoras na Antártica. Muitas são espécies oportunistas que competem com as espécies locais e acabam por predominar. Com o aumento da visitação, o aumento da atividade humana e com as mudanças climáticas deixando o local menos inóspito, o risco de introdução de tais espécies aumenta muito. Por causa do aquecimento global, espera-se que haja um aumento da habilidade de novas espécies introduzidas a sobreviver na Antártica. Esse é um tema ao qual tem sido dada prioridade altíssima.

Uma das lacunas na abordagem do tema é a falta de conhecimento sobre biodiversidade e distribuição de espécies na Antártica. Tem-se procurado incentivar estudos de diversidade biológica e genética, distribuição, biogeografia, riscos do aquecimento global, especialmente relacionado às comunidades microbiológicas e ecossistema marinho. Prevenção, acompanhamento e resposta contra espécies invasoras são ações que devem ser consideradas no planejamento de qualquer atividade na Antártica, especialmente nas avaliações de impacto ambiental; e ademais, diretrizes padronizadas devem ser desenvolvidas.

## BIOPROSPECÇÃO

Bioprospecção ou prospecção biológica é a exploração de microorganismos, plantas e animais como recursos genéticos e bioquímicos, comercialmente valiosos. Com os avanços da biotecnologia, há um interesse crescente nesse assunto, pois tem se tornado uma indústria muito lucrativa. A Antártica está longe de estar imune a esse tipo de exploração. Há ocorrências relatadas de coleta de microorganismos antárticos para fins farmacêuticos e o interesse em bioprospecção na região está crescendo rapidamente.

Devem-se considerar as implicações que a criação de patentes de produtos biológicos pode ter nas pesquisas científicas e na conservação na Antártica. Ainda não há, no Tratado da Antártica, qualquer mecanismo que regule essa atividade. Bioprospecção pode ter implicações em aspectos importantes como liberdade de informação científica, caso o caráter confidencial que exige as descobertas com usos comerciais limitem as oportunidades de publicação científica. Há preocupação também com o meio ambiente marinho, que pode representar fonte potencial de coleta de espécies de crescimento lento que contenham compostos de interesse farmacêutico.

## POLUIÇÃO DOS OCEANOS

Detritos nas águas marinhas fazem mais do que poluir o Oceano Austral e sujar as praias. Eles matam e ferem milhares de aves e mamíferos marinhos

Tânia Brito



Coleta de lixo na Estação Antártica Comandante Ferraz

todos os anos. Na Bird Island, Geórgias do Sul, em um ano, foram verificadas 208 ocorrências de aprisionamento de focas em redes de pesca e linhas de nylon, e em torno de 5 a 10 mil lobos-marinhos se emaranham em detritos.

Em resposta aos crescentes problemas de detritos marinhos, leis internacionais têm sido criadas para proibir a descarga de plásticos, óleo, materiais nocivos, esgoto e lixo em geral nos oceanos. Entre esses estão incluídos: cordas sintéticas, redes de pesca sintética

e linhas, sacos plásticos de lixo e tiras plásticas, produtos de papel, vidro, metal, garrafas, cinza de incinerador e material de empacotamento.

## OZÔNIO E RADIAÇÃO UV

Gases de origem artificial, como a maioria dos clorofluorcarbonetos (CFCs), introduzidos na atmosfera, contribuem para a destruição da camada de ozônio. O ozônio tem a propriedade de absorver fortemente a radiação solar na faixa do ultravioleta, a qual tem efeito danoso sobre os seres vivos. Em quantidade adequada, a radiação ultravioleta que passa pela atmosfera e atinge a superfície da Terra é benéfica aos seres vivos. Acima de determinadas doses, a radiação pode, contudo, ser letal para organismos unicelulares, provocando a diminuição do fitoplâncton, microalgas que formam a base da cadeia alimentar. Afetam também células superficiais de plantas e animais, acarretando o aparecimento de queimaduras de pele, catarata e até câncer de pele.

O aumento do “buraco” de ozônio, durante a primavera austral, permite maior penetração de radiação ultravioleta nas camadas superficiais do oceano, coincidindo com a fase de reprodução de muitos peixes e outros animais aquáticos produtores de ovos flutuantes, sensíveis à ação dessa radiação. A destruição dessas fases sensíveis do ciclo de vida desses organismos pode causar efeitos abrangentes em outros animais maiores do ecossistema, devido à redução de recursos na cadeia alimentar. Mudanças na concentração de ozônio podem ainda ter conseqüências climatológicas, pelas alterações que provocam no perfil de temperatura da atmosfera.

## POLUIÇÃO NA ANTÁRTICA

Antártica tem sido considerada uma das poucas áreas do mundo protegidas da poluição. Entretanto, o interesse científico e as atividades humanas, especialmente nas proximidades das estações de pesquisa, têm aumentado nas últimas décadas. Essas atividades contribuem para uma fonte pontual de poluição ambiental, incluindo a descarga de esgotos. Efluentes de esgoto representam grande problema em nível global, tanto em volume de material poluente despejado quanto em relação aos problemas concretos de saúde pública, uma vez que são lançados diariamente pela população residente nas regiões costeiras.

Na Antártica, as práticas de disposição não têm sido diferentes daquelas regiões urbanas e podem afetar o ecossistema antártico. Para o estudo da poluição por esgoto, os esteróis fecais têm sido usados como indicadores químicos, pois são menos susceptíveis que os microbiológicos às mudanças ambientais. Além dos esgotos, os poluentes orgânicos persistentes (POPs) também podem atingir a região antártica. Bifenilos policlorados (PCBs) e pesticidas organoclorados representam a maioria desses compostos que não ocorrem naturalmente no ambiente e não são facilmente degradados por oxidação química ou ação bacteriológica.

Além disso, o estudo desses compostos no ambiente é importante devido a sua persistência, toxicidade, lipossolubilidade e biomagnificação. O ambiente antártico não está isento da influência desses compostos, uma vez que podem ser facilmente emitidos para a atmosfera e integrar um processo cíclico de contaminação global. Assim o transporte atmosférico é a principal via de entrada no ecossistema, atingindo regiões remotas como a Antártica.

## POLUIÇÃO POR HIDROCARBONETOS DO PETRÓLEO NA ANTÁRTICA

Petróleos são constituídos por milhares de compostos químicos diferentes, resultantes de processos ocorridos durante a sua formação, formando uma mistura muito complexa. Produtos refinados como gasolina, diesel, óleos lubrificantes, querosene, óleo combustível contêm os mesmos compostos que o petróleo, mas com um intervalo de pontos de ebulição mais restrito.

Os hidrocarbonetos, por ser os principais componentes, são utilizados como indicadores da poluição por petróleo e derivados. Uma vez que o petróleo ou algum derivado cai no ambiente, ele pode ser degradado por meio de diversos

processos físicos, químicos e biológicos, como evaporação, espalhamento, reações fotoquímicas e degradação microbiológica. Hidrocarbonetos do petróleo podem ser encontrados na água, no sedimento marinho ou em organismos que vivem no mar. Portanto é importante identificar suas concentrações, para avaliar o impacto que pode estar sendo causado ao ambiente.

Os derivados de petróleo são a principal fonte de energia em todas as operações antárticas, sejam elas em terra ou em mar. Com uma população de aproximadamente 2 mil indivíduos durante o verão, cerca de 108 litros de combustíveis são usados a cada ano pelas estações de pesquisa, sem contar o uso na pesca e no turismo. Portanto, além de grande número de fontes crônicas de hidrocarbonetos fósseis na região, há também a possibilidade de derrames e acidentes em locais de transporte e estocagem desses derivados.

Por mais que se tente reduzir o impacto da presença humana na Antártica, alguma alteração, mesmo que mínima, sempre ocorre.

Pesquisas realizadas desde 1987, na região da Estação Antártica Comandante Ferraz, permitiram verificar que a área, embora constata a presença de compostos do petróleo, tem contaminação mínima por hidrocarbonetos.

Embora existam muitos estudos sobre problemas de poluição por petróleo no ambiente marinho, pouco se sabe a respeito do que pode ocorrer quando isso acontece no ambiente antártico. Por isso é necessário um estudo em conjunto com grupos que pesquisem diferentes parâmetros químicos, físicos e biológicos, para fazer uma integração de dados e compreender melhor os efeitos da introdução desses compostos e seus processos de degradação nessa região.



# PRESENÇA HUMANA NA ANTÁRTICA





# PRESENÇA HUMANA NA ANTÁRTICA

– HISTÓRICO DA COOPERAÇÃO INTERNACIONAL  
E O ESTABELECIMENTO DO TRATADO ANTÁRTICO

A idéia de um grande Continente Austral, que deveria contrabalançar a massa de terra existente no Hemisfério Norte e assim dar simetria e equilíbrio ao globo, remonta à Antigüidade grega. Com o passar dos séculos, essa suposição deu origem a um mito que permeou, com suas variações, toda a era dos descobrimentos e, assim como o Eldorado, motivou exploradores e nações a aventurarem-se na busca do Continente Austral. Diversos mapas antigos apresentam referências à *Terra Australis Incognita*, ora isolada, ora ligada à América ou à Austrália.

O mito de um continente com riquezas semelhantes às que os europeus conheceram na Ásia foi matizado pelas viagens de James Cook (entre 1768 e 1778). Entre as ordens recebidas pelo navegador britânico estava a verificação da hipótese da *Terra Australis Incognita*. Cook chegou aos limites setentrionais das banquisas de gelo por volta do paralelo 70° Sul, a apenas 75 milhas do continente, e declarou não haver “o menor espaço para a possibilidade de lá existir um continente, salvo perto do Pólo”, inacessível e frio demais para que o mito de riqueza em torno daquela região fosse verdadeiro. A efetiva descoberta do continente, disputada por três exploradores (o russo Bellingshausen, o norte-americano Palmer e o britânico Bransfield), viria a ocorrer somente no início do século XIX.

Apesar de destruído o mito do Eldorado austral, os relatos das primeiras viagens exploratórias às altas latitudes meridionais tinham leitura garantida entre comerciantes de peles de foca e óleo de baleia. Do fim do século XVIII a meados do XIX, quando se dissemina o uso do petróleo como combustível, a exploração da Antártica e de seus arredores era orientada por interesses comerciais, dos quais o principal era a caça a mamíferos marinhos.

A indústria baleeira era então quase tão onipresente como é hoje a petroleira – o óleo de baleia era utilizado para iluminação, lubrificação e como matéria prima para os mais diversos usos, enquanto os ossos do animal serviam para a confecção de todo tipo de utensílio; até na perfumaria eram encontrados produtos extraídos da baleia. A população de focas já estava drasticamente reduzida no Ártico, e a queda na oferta tornava o preço das peles ainda mais atraente. Descrições como “as focas nadam em espessos cardumes [...] não há angra nem rochedo por meio dos quais se possa chegar a terra,

estando todos repletos delas” levaram a uma corrida ao sul. É provável que o maior número de descobertas tenha sido feito por caçadores de focas e de baleias, mas, como os pontos de caça eram mantidos em sigilo para não atrair concorrentes, não há muitos registros confiáveis.

Mesmo quando o petróleo substituiu o óleo de baleia em grande parte dos usos industriais, a indústria baleeira ainda se manteve ativa como fornecedora de matéria-prima para fabricação de ração animal e glicerina. A caça às focas, entretanto, foi drasticamente reduzida com a quase extinção das espécies, como aconteceria mais tarde com as baleias.

O início do século XX assistiu ao relativo declínio da atividade de caça nos mares austrais e à realização de numerosas expedições científicas antárticas, com o início da chamada Era Heróica da exploração polar. Tanto no Ártico como na Antártica, o prestígio de nações foi colocado em jogo pela precedência nos últimos lugares da terra livres da presença humana. As pesquisas na Antártica haviam permitido delinear o contorno do continente. Os exploradores mais audazes, contudo, tinham como objetivo central à chegada ao coração da Antártica, o Pólo Sul.

A dramática corrida entre o norueguês Roald Amundsen e o britânico Robert Scott pela chegada ao Pólo Sul é símbolo da Era Heróica. Amundsen chegou ao Pólo Sul em dezembro de 1911, concluindo com sucesso uma viagem muito bem planejada. Scott, por sua vez, atingiu o Pólo Sul poucas semanas depois do explorador norueguês. Contudo, morreu na viagem de volta, a poucas centenas de metros de um depósito de comida e combustível, após jornada repleta de infortúnios. Na câmera fotográfica encontrada com os espólios da expedição do britânico, o registro da bandeira norueguesa fincada sobre o pólo.

Os relatos das expedições da Era Heróica deram origem a algumas das maiores histórias de sobrevivência e aventura já registradas, como as de Ernest Shackleton. Em janeiro de 1909, expedição liderada por Shackleton chegou a 88 graus de latitude Sul, e, ao fincar a bandeira britânica a 180 quilômetros de seu objetivo, tornou-se o homem que até então mais se aproximara do Pólo Sul. Posteriormente, em 1912, Shackleton rumava para a Antártica com planos para realizar a primeira travessia trans-continental, quando seu navio *Endurance* foi aprisionado pelo gelo e teve de ser abandonado pela tripulação. A partir daí seu objetivo passou a ser a sobrevivência do grupo, o que foi conseguido depois de vencidos os mais difíceis desafios.

As expedições da Era Heróica viriam a servir de fundamento para muitas das reivindicações territoriais no continente, assunto que veremos mais

adiante. Foram marcantes também por conjugar a exploração de novas terras com a pesquisa científica, antevendo aquela que viria a ser a principal atividade humana no continente. Atualmente, as atividades humanas no continente configuram um dos melhores exemplos de cooperação internacional existente e caracterizam-se pela predominância da pesquisa para aplicações em diversas áreas de conhecimento, conforme pode-se observar ao longo deste livro. Tal cooperação se desenvolve a partir de um quadro jurídico – um regime internacional – que se denomina Sistema do Tratado Antártico.

Motivados principalmente por questões estratégicas, no final da década de 50 doze países, sete dos quais reivindicavam partes da Antártica para si, conseguiram suspender diferenças aparentemente inconciliáveis e criaram, em plena Guerra Fria, um regime internacional que colocou toda a área ao sul do paralelo 60°, o que equivale à terça parte do Hemisfério Sul, sob normas especiais que incluem sua desmilitarização e o não-reconhecimento de soberanias. Um tratado foi assinado em 1959, na Conferência de Washington, e desde então esse regime internacional evoluiu para um complexo sistema – denominado Sistema do Tratado Antártico (STA), cujos propósitos principais são a proteção do meio ambiente e a promoção de pesquisa científica.

O Tratado Antártico estabeleceu um *modus vivendi* entre os países que reivindicavam para si soberania sobre partes da Antártica (os chamados países territorialistas) e os que eram favoráveis ao livre acesso ao Continente Austral. Como resultados do processo negociador, foram estabelecidas a desmilitarização do continente e a liberdade de pesquisa científica. O quadro jurídico que regula as atividades humanas na Antártica é resultado de um processo em que numerosos países atuaram e atuam, movidos por variados interesses, em que se destacam os aspectos econômicos (como a proibição da exploração de minerais, conforme veremos adiante), políticos (como a superação das reivindicações territoriais) e a cooperação científica naquele continente.

Com base nesse arranjo, surgiram três instrumentos internacionais para regular o aproveitamento racional de recursos naturais: a Convenção para Conservação das Focas Antárticas, a Convenção para Conservação dos Recursos Marinhos Vivos da Antártica e o Protocolo de Proteção Ambiental, também chamado de Protocolo de Madri, que proíbe as atividades de exploração de recursos minerais na área do tratado e declara o continente como “reserva natural, dedicada à paz e à ciência”. O STA é completado por um conjunto de regras para promoção de cooperação científica e do meio ambiente adotadas nas reuniões anuais dos Estados Partes, denominadas Reuniões Consultivas.

## HISTÓRICO DA COOPERAÇÃO CIENTÍFICA

A construção intelectual da Antártica se inicia no século XIX, não apenas por parte dos governos interessados no continente, mas também por parte dos próprios exploradores, de sociedades científicas e congressos internacionais que favoreceram a colaboração entre nações. A oceanografia, a meteorologia e a astronomia dão à ciência antártica fundamental impulso, abrindo caminho para o surgimento e consolidação de uma “consciência antártica”, em que os princípios da liberdade de pesquisa e da cooperação ali consolidadas contêm as sementes do Tratado Antártico, que seria adotado muito depois, em 1959.

Um importante exemplo desse processo foi o surgimento de propostas, a partir de 1869, de estabelecimento de observatórios para o trânsito de Vênus em localidades sub-antárticas ou antárticas. Naquele contexto, estabeleceram-se formatos padronizados para as observações de fenômenos magnéticos e buscou-se, ainda, coordenar os tempos de observação e comparar instrumentos com vistas a assegurar o máximo de compatibilidade. Da mesma forma, o estabelecimento de uma rede de estações meteorológicas, em 1781, o estabelecimento de rede de estações para medir o magnetismo terrestre, a partir de 1832, e o primeiro núcleo de estações permanentes para observações geofísicas, a partir de 1872, são importantes marcos da cooperação polar porque destacam a importância das ilhas oceânicas, das regiões desabitadas e das zonas polares. As observações astronômicas de Edmund Halley no Atlântico Sul, ainda no século XVIII, e as expedições de Alexander Humbold são emblemáticas nesse processo.

Tais atividades científicas, entre outras, levaram à realização do Ano Polar Internacional em 1882–1883. O Brasil contribuiu com a iniciativa por meio do envio de expedição para observar o trânsito de Vênus a partir do Estreito de Magalhães. O impulso à cooperação proporcionado pelo Ano Polar Internacional favoreceu que, nos anos seguintes, numerosas conferências científicas internacionais considerassem o tema da pesquisa antártica. Por exemplo, o Sétimo Congresso Internacional de Geografia, realizado em Berlim em 1899, concluiu sobre a necessidade de elaborar um plano orgânico coordenador das atividades, com vistas a obter maior benefício das explorações antárticas.

Denominou-se Expedição Antártica Internacional a um grupo de quatro expedições nacionais cujos objetivos observaram o princípio da distribuição geográfica: a do britânico Scott, no navio *Discovery*, reconheceu o setor da Terra da Rainha Vitória, uma vez que havia descoberto aquela região; a do sueco Nordenskjöld, no navio *Antarctic*, e a do escocês Bruce, no *Scotia*,

exploraram o Mar de Weddell; e a do alemão Drygalski, no *Gauss*, operou no setor do Índico. A essas expedições se somaria a de Jean Charcot, no *Français*, que navegou para o ocidente da Península Antártica no verão de 1903.

A experiência daqueles que viveram a realidade antártica nesse período consolidou a convicção de que a ciência antártica era possível somente por meio de esforço internacional comum. A série de iniciativas nesse sentido, inclusive o estabelecimento, na Bélgica, de um Instituto Antártico Internacional e de uma Comissão Polar Internacional, integrada por países cujos nacionais tivessem liderado expedições antárticas ou delas participado, interrompeu-se com a eclosão da Primeira Guerra Mundial, em 1914.

A retomada da cooperação após a guerra possibilitou a realização do Segundo Ano Polar Internacional em 1932–1933. O programa de atividades previa a participação de mais de uma centena de estações, entre as quais mais de vinte na região antártica e sua vizinhança. Em relação ao Primeiro Ano Polar Internacional, ampliava-se o quadro geográfico de observações para além das regiões polares e incorporavam-se pesquisas relacionadas com a ionosfera.

Ao considerar os resultados do Segundo Ano Polar Internacional, o então Conselho Internacional de Uniões Científicas, hoje Conselho Internacional para a Ciência (ICSU), concluiu sobre a conveniência de realizar um programa de âmbito universal. Nesse sentido foram lançadas as bases para a realização do Terceiro Ano Polar Internacional (1957–1958), que recebeu o nome mais genérico de Ano Geofísico Internacional (AGI), para sublinhar que o escopo das pesquisas não se restringia às regiões polares, mas abarcava todo o planeta, com ênfase nos pólos e na zona tropical.

Entre os parâmetros estabelecidos para as atividades do AGI, destacaram-se: atribuir prioridade absoluta para problemas de caráter mundial, ou seja, aqueles que exigissem colaboração efetiva e acordos internacionais; evitar dispersão de esforços e recursos; evitar duplicação de trabalho; maximizar a cobertura na Antártica e eliminar os programas cujo objeto não estivesse claramente definido. Além disso, as conferências preparatórias, ao reconhecer o interesse no estabelecimento de novas estações, recomendavam que as novas construções fossem feitas de maneira a cobrir uniformemente o continente, embora reconhecessem que necessidades fundamentais pudessem levar à instalação de estações próximas a outras já existentes.

Outras resoluções adotadas no processo preparatório do AGI diziam respeito a medidas de coordenação relativas à Central Meteorológica Antártica: apoio logístico; comunicações por meio de rádio; troca de informação sobre instalações de bases, treinamento de pessoal.

Culmina aqui uma trajetória – trânsito de Vênus, Anos Polares, Comissão Polar Internacional, Ano Geofísico Internacional – cujos princípios, acordos e atividades, inclusive quanto à liberdade de pesquisa científica e à cooperação internacional, são as bases para o estabelecimento, em 1959, do Tratado Antártico. Também nesse contexto, com o êxito do AGI e a necessidade de institucionalizar a cooperação antártica, insere-se a iniciativa do ICSU de criar três comitês especiais de caráter científico: o Comitê Científico para Pesquisa Oceânica (SCOR), o Comitê Científico para Pesquisa Antártica (SCAR) e o Comitê Científico para Pesquisa Espacial (COSPAR).

Quatro décadas mais tarde, em 2003, em Reunião Consultiva realizada em Madri, os Estados Partes do Tratado Antártico solicitaram ao SCAR que trabalhasse próximo ao ICSU, com vistas a conseguir o planejamento e a implementação de um Ano Polar Internacional (API), em 2007–2009, que se ocupe dos temas científicos polares prioritários de importância mundial. As partes no tratado acordaram recomendar a seus governos que dessem apoio aos projetos de seus programas nacionais que viessem a se inserir nas atividades de cooperação internacional sob o API, com vista a obter resultados que fossem inalcançáveis para seus programas individualmente. Os países concordaram, ainda, em passar a conferir prioridade ao apoio ao API no desenvolvimento de suas atividades nacionais de pesquisa.

## AS REIVINDICAÇÕES TERRITORIAIS

Entre 1908 e 1940, sete países – Argentina, Austrália, Chile, França, Noruega, Reino Unido e Nova Zelândia – declararam unilateralmente soberania sobre partes do continente antártico. Os supostos fundamentos das reivindicações territoriais variam da descoberta de terras até a sucessão das potências coloniais, passando pela contigüidade territorial, a teoria dos setores, a exploração econômica da região.

Quase todas as reivindicações se valem de uma variação da chamada “teoria dos setores”. Primeiramente proposta pelo senador canadense Pascal Poirer, em 1907, para a partilha das ilhas árticas, a teoria dos setores se baseia em dois meridianos que partem do pólo até os extremos leste e oeste dos países em torno do Oceano Ártico. Rússia e Canadá, com os maiores litorais voltados para o norte, adotaram de bom grado o princípio, que não foi plenamente aceito por outros países daquela região.

Como não há nenhum Estado no Oceano Austral (latitudes superiores a 60° sul) e como muitos países reivindicantes encontram-se no Hemisfério Norte, a transposição da teoria dos setores para a Antártica ocorre com o prolongamento das reivindicações até o pólo, utilizando os meridianos



extremos do litoral reivindicado, usando geralmente o paralelo 60° como limite norte. Pelo critério da contigüidade, todo o território entre esses meridianos, mesmo que absolutamente desconhecido, estaria sob jurisdição soberana do país reivindicante.

Uma outra variação da teoria dos setores foi proposta a partir de 1956 e teve reflexos até os anos 80, adotada por alguns autores brasileiros, entre eles Delgado de Carvalho e Therezinha de Castro: a Teoria da Defrontação. Variação do critério dos setores, a Teoria da Defrontação previa que a Antártica deveria ser dividida pelos meridianos extremos dos territórios dos países do Hemisfério Sul – no caso brasileiro, entre os meridianos do Arroio Chuí (53°22'W) e da Ilha Martim Vaz (28°48'W).

A questão das reivindicações territoriais, assim como todos os aspectos relacionados à soberania, foram centrais nas negociações do Tratado Antártico, conforme veremos a seguir.

## A CONFERÊNCIA DE WASHINGTON E O TRATADO ANTÁRTICO

Em 1959, em parte como fruto do considerável volume de atividades proporcionadas pelo AGI e de novas considerações políticas surgidas a partir dessas atividades, como o risco de militarização do continente, foi convocada a Conferência de Washington, com vista a estabelecer um regime internacional para a Antártica. Os 12 países que estabeleceram bases antárticas durante o AGI foram convidados a participar da conferência: África do Sul, Argentina, Austrália, Bélgica, Chile, Estados Unidos, França, Japão, Noruega, Nova Zelândia, Reino Unido e União Soviética.

A conferência, realizada em outubro de 1959, foi precedida de aproximadamente um ano de trabalhos preparatórios. As reuniões preparatórias foram feitas secretamente, sob a condução de representante dos Estados Unidos, que também presidiria a conferência. Alguns pontos foram arduamente negociados, como regras de acessão de novos Estados ao tratado, liberdade de pesquisa científica, propostas de internacionalização do continente sob as Nações Unidas, reivindicações territoriais e possibilidade de criação de uma burocracia internacional para lidar com o tema.

O documento, assinado em 1° de dezembro de 1959 e posto em vigor em 1961, exigiu flexibilidade e criatividade por parte dos negociadores, e seu resultado é com freqüência considerado uma obra-prima em termos de ambigüidade. O tratado não resolve a questão territorial, apenas a congela. Outros temas que dependeriam da solução da questão territorial, como a jurisdição no continente, também são enfocados de maneira ambígua. Já a exploração de recursos minerais não é regulamentada pelo texto adotado em 1959.

As alternativas ao tratado seriam a criação de uma organização com traços supranacionais ou a ausência de um regime, ambas obviamente indesejadas pelos países participantes. Apesar de estar longe de ser um instrumento jurídico perfeito, o tratado provou sua efetividade ao longo de seus mais de 40 anos de existência, como mecanismo adequado para abrigar uma série de regimes mais específicos sobre diferentes temas.

## AS DISPOSIÇÕES DO TRATADO ANTÁRTICO

O preâmbulo do tratado reconhece os avanços científicos do AGI, a concordância com os princípios da Carta das Nações Unidas e a importância da Antártica para toda a humanidade, devendo ficar livre para sempre da discórdia internacional – estabelece, portanto, prazo de validade indefinido para o acordo. Os catorze artigos restantes versam sobre os seguintes temas: *modus vivendi* para reivindicações territoriais e jurisdição (artigos IV, VI, VIII e XI); uso pacífico do continente (artigos I, V e X); promoção de pesquisa científica (artigos II e III); inspeções (artigo VII); questões institucionais e processo de tomada de decisão (artigos IX, XII, XIII e XIV).

O artigo IV mantém o *status* quo das reivindicações territoriais, embora não reconheça essa situação. O texto prevê que nada no âmbito do tratado pode ser considerado como renúncia, reconhecimento, reforço, ampliação ou redução das reivindicações territoriais existentes ou de eventuais fundamentos para futuras reivindicações.

O instrumento aplica-se ao sul do paralelo 60° de latitude, sem prejuízo às normas de direito marítimo (artigo VI). A referência geográfica é ampla o suficiente para evitar discussões quanto à aplicação do tratado nas plataformas, banquisas de gelo ou em icebergs. Dentro dessa área, indivíduos estão sob a jurisdição da parte contratante de sua nacionalidade (artigo VIII). A questão da jurisdição provou ser uma das mais difíceis, uma vez que está intimamente ligada à questão da soberania no continente. Optou-se por uma fórmula que permitisse soluções *ad hoc* no caso de conflito de jurisdição: a princípio as partes contratantes têm jurisdição sobre seus nacionais, mas se o fato jurídico ocorrer em uma área reivindicada, o país reivindicante também pode demandar jurisdição sobre o fato.

Caso o indivíduo não seja nacional de uma parte contratante ou, ainda, se houver conflito de jurisdição, um fato jurídico em território reclamado por uma das partes, envolvendo um nacional de outra parte, deve ser resolvido bilateralmente, dentro do espírito do tratado, ou ainda ser levado à Corte Internacional de Justiça (artigo XI).

Os artigos I e V estabelecem o uso exclusivamente pacífico do continente, proibindo atividades de caráter militar, banindo explosões nucleares e depósitos de resíduos radioativos, embora seja permitida a utilização de pessoal e equipamentos de uso militar para fins pacíficos. A desmilitarização do continente é fundamental para a manutenção do *modus vivendi*, estabelecido no artigo IV e condição *sine qua non* para a assinatura do tratado. A articulação entre os artigos I e IV possibilita que os países territorialistas exerçam soberania relativa sobre seus territórios antárticos, sem os custos da manutenção de forças militares e, ao mesmo tempo, provê acesso irrestrito aos demais países.

O artigo X determina que é dever das partes impedir que qualquer um exerça atividades contrárias aos princípios do tratado, usando métodos consistentes com a Carta das Nações Unidas.

A pesquisa científica, no espírito cooperativo que marcou o AGI, foi consagrada como a principal atividade humana no Continente Austral pelo Tratado da Antártica em seus artigos II e III, além do preâmbulo. O artigo II estabelece a continuidade das atividades do AGI, enquanto o artigo III determina o intercâmbio de informações e pesquisadores, assim como a publicidade dos dados e a cooperação com outras organizações internacionais e agências especializadas da ONU com interesses científicos na Antártica.

A observância das normas do tratado, assim como de todo o aparato jurídico-institucional que surgiu a partir dele, é garantida pelo mecanismo de aquiescência estabelecido pelo artigo VII, que permite o acesso irrestrito de inspetores das Partes Consultivas a quaisquer instalações, equipamentos ou veículos na área do tratado, sem aviso prévio. De 1963 a 2001, as Partes Consultivas realizaram mais de 230 inspeções, muitas delas multinacionais, sem jamais haver notícia de quebra das regras do tratado. Além disso, as partes devem apresentar relatórios informando antecipadamente suas atividades no continente.

O Tratado da Antártica está aberto à adesão (artigo XIII), mas estabelece três categorias distintas entre os países que fazem parte do regime, em função do direito de participação nas chamadas Reuniões das Partes Consultivas (*Antarctic Treaty Consultative Meetings*, mais conhecidas pela sigla em inglês, ATCMs), o principal fórum de decisão política do regime (artigo IX).

A primeira categoria, dos países originalmente signatários, detém plenos direitos de participação e decisão nas ATCMs. A segunda categoria é composta por países que aderiram ao tratado e, tendo demonstrado “substancial pesquisa científica”, passaram a ter direito à plena participação nas ATCMs. Países nessas duas categorias são geralmente citados como Partes Consultivas, ou seja, os países com poder de decisão no regime. A diferença entre uma categoria e outra é que, em tese, países da segunda categoria estão sujeitos

a perder seu status consultivo se permanecerem longos períodos sem desenvolver “substancial pesquisa científica”, o que não ocorre com os signatários originais. A terceira categoria é composta de países que aderiram ao tratado, mas não atingiram o *status* de parte consultiva.

O artigo XII estabelece que o tratado pode ser modificado ou emendado, a qualquer momento, por decisão unânime das Partes Consultivas. Decorrido o prazo de 30 anos após a entrada em vigor, o que ocorreu em 1991, qualquer uma das Partes Consultivas pode requerer nova conferência para rever o funcionamento do regime, onde as decisões seriam tomadas por maioria dos signatários, incluindo a maioria das Partes Consultivas. Nenhum pedido de revisão foi feito até hoje, mas em 1991 foi assinado o Protocolo de Madri, reforçando os termos do tratado, conforme será visto adiante.

## ELEMENTOS DO SISTEMA DO TRATADO ANTÁRTICO

Além dos doze membros originais mencionados acima, 33 países aderiram ao tratado, desde 1961 – Polônia (1961), República Tcheca (1962), Eslováquia (1962), Dinamarca (1965), Holanda (1967), Romênia (1971), Alemanha (1974), Brasil (1975), Bulgária (1978), Uruguai (1980), Papua Nova Guiné (1981), Itália (1981), Peru (1981), Espanha (1982), República Popular da China (1983), Índia (1983), Hungria (1984), Suécia (1984), Finlândia (1984), Cuba (1984), República da Coreia (1986), Grécia (1987), República Democrática e Popular da Coreia (1987), Áustria (1987), Equador (1987), Canadá (1988), Colômbia (1989), Suíça (1990), Guatemala (1991), Ucrânia (1992), Turquia (1996), Venezuela (1999) e Estônia (2001). Desde então, 15 países obtiveram status como Parte Consultiva, entre os quais o Brasil, passando a ter plena participação nas ATCMs, junto aos países signatários originais.

A partir de seus pontos fundamentais – uso exclusivamente pacífico do continente, liberdade de pesquisa científica, congelamento das questões territoriais – o tratado evoluiu em um complexo conjunto de regras e instrumentos que lidam com os mais diversos temas, dando origem ao que hoje é conhecido como Sistema do Tratado da Antártica (STA).

Reuniões Consultivas – o tratado não instituiu nenhum órgão permanente, tampouco criou organização internacional, mas estabeleceu que as partes se reunissem freqüentemente nas Reuniões das Partes Consultivas (ATCMs). O funcionamento das ATCMs pode ser comparado a de um corpo legislativo, um órgão de tomada de decisões por consenso. Nas reuniões, somente as Partes Consultivas têm papel ativo, com direito a voto, enquanto os demais convidados, inclusive Partes não-Consultivas, restringem-se ao papel de Observadores, podendo, no entanto, distribuir documentos informativos aos demais.

A partir de meados dos anos 90, também representantes de ONGs e organismos especializados da ONU participaram das reuniões como observadores e, ocasionalmente, até mesmo alguns países não signatários. A agenda das reuniões é definida preliminarmente na reunião anterior; não são realizados trabalhos preparatórios, embora com frequência sejam estabelecidos grupos de trabalho por correspondência para discussão de temas pontuais.

As decisões das ATCMs são tomadas por meio de Medidas. Tais instrumentos entram em vigor apenas após a sua aprovação – ou ratificação – por todas as Partes Consultivas, de acordo com suas respectivas normas de direito interno.

Além das medidas, as partes podem adotar, nas ATCMs, Decisões, referentes a aspectos de organização interna, e Resoluções, textos exortativos ali adotados. Ambos os instrumentos não têm caráter jurídico vinculante, ou seja, não impõem novas obrigações aos Estados Partes e têm efetividade imediatamente a partir de sua adoção.

Um levantamento dos instrumentos adotados pelas Reuniões Consultivas de 1961 a 2006 demonstra notável predomínio de tópicos ambientais, mesmo sobre questões relativas à cooperação científica – tema consagrado no tratado. Além da preservação ambiental, esses instrumentos dispõem sobre cooperação e facilitação para pesquisa científica, inclusive troca de dados e intercâmbio de pessoal, questões administrativas e operativas, designação de locais de interesse histórico, transporte e logística, exploração de recursos naturais, telecomunicação e serviços postais, troca de informações, atividades turísticas e não-governamentais, cooperação em meteorologia e hidrografia, entre outros.

O predomínio das questões ambientais na agenda ocorre desde as primeiras ATCMs, antes portanto da ascensão, verificada nos anos 80 e 90, do interesse internacional pelo meio ambiente. A consolidação da preocupação ambiental nas ATCMs levou à assinatura e à entrada em vigor de três acordos específicos sobre o tema: a Convenção para a Conservação das Focas Antárticas (CCAS), a Convenção para a Conservação dos Recursos Vivos Marinhos Antárticos (CCAMLR) e o Protocolo de Proteção Ambiental, também conhecido como Protocolo de Madri. Os aspectos ambientais desses três acordos foram detalhados em capítulo anterior.

**CCAS** – A caça a focas e baleias foi a primeira atividade humana na Antártica. Já no século XIX, as focas antárticas chegaram à beira da extinção devido à matança indiscriminada. Os próprios caçadores alertavam para o fato, constatando que pontos de caça outrora abundantes escasseavam quase por completo em questão de poucos anos.

Negociada a partir da estrutura existente no Tratado Antártico, e incorporando diretrizes do SCAR, a CCAS cobre todas as espécies de focas que habitam a Antártica e estabelece limites para a caça em alto mar na área do tratado. A convenção foi assinada em 1972 em Londres, e entrou em vigor em 1978, sendo revista em 1988. Não há registro de retomada da exploração comercial da caça à foca e as permissões especiais para pesquisa científica não foram significativas para afetar a população, ainda em recuperação após a quase extinção.

A caça comercial de baleias, por sua vez, foi objeto de moratória adotada pela Comissão Internacional da Baleia (CIB), em 1982, implementada a partir de 1985. Na reunião da CIB, em Puerto Vallarta, no México, a comissão aprovou o estabelecimento de um santuário austral de baleias, para proteção dos grandes cetáceos na Antártica.

**CCAMLR** – No final dos anos 60 e início dos 70, a escassez de baleias levou alguns caçadores, principalmente soviéticos, a explorar como alternativa o krill, espécie de crustáceo, semelhante ao camarão, que habita o Oceano Austral. O krill constitui a base da cadeia alimentar antártica, sendo o principal alimento de baleias, focas e aves. Nos anos 60, pesquisas preliminares decorrentes da exploração de krill apontavam estimativas de que este poderia tornar-se importante recurso pesqueiro. No entanto, outras pesquisas sugeriam que a exploração do krill poderia afetar negativamente o ecossistema e o meio ambiente antárticos.

Com essas considerações em mente, os Estados Parte do Tratado Antártico negociaram, entre 1978 e 1980, um regime para a conservação dos recursos vivos marinhos antárticos. Desse processo resultou a assinatura da CCAMLR, que entrou em vigor em 1981.

Alguns elementos fazem da CCAMLR um regime inovador, entre eles: o fato de regulamentar a exploração de águas internacionais, tradicionalmente consideradas *res nullius* (expressão latina que significa *coisa de ninguém*), definir conservação como uso racional, isto é, permitir a exploração dos recursos de forma a não comprometer sua utilização contínua; e a adoção de uma abordagem ecossistêmica, ou seja, levar em conta, no gerenciamento da exploração de uma espécie, não somente sua população, mas também o impacto dessa exploração nas espécies que fazem parte de sua cadeia alimentar. Além disso, a CCAMLR adota o princípio da precaução, prevenindo danos ambientais irreversíveis em situações em que todas as variáveis envolvidas não sejam conhecidas.

A CCAMLR conta com uma comissão, cujo secretariado é sediado em Hobart, Austrália e cujas decisões são tomadas por meio de instrumentos

denominados Medidas de Conservação, para manutenção de níveis de sustentabilidade e conservação dos recursos marinhos vivos do continente austral.

Uma grande ameaça ao regime é a pesca ilegal na área de aplicação da convenção, a chamada pesca IUU (*Illegal, Unregulated and Unreported Fishing*), realizada por embarcações pesqueiras tanto de países membros como não-membros. Nesse caso, a comissão tenta aumentar o controle das embarcações dos países membros, por meio de observadores de bordo e utilização de sistemas de rastreamento por satélite. Como vimos, atualmente, a espécie mais ameaçada da Antártica é a *Dissostichus spp* (Bacalhau de Profundidade/Merluza Negra/*Toothfish*).

## PROTOCOLO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO TRATADO ANTÁRTICO (PROTOCOLO DE MADRI)

O Protocolo de Madri suplementa o Tratado da Antártica, declarando a área abaixo do paralelo 60° sul “reserva natural, dedicada à paz e à ciência” (artigo II). A proteção do meio ambiente e a importância da Antártica como laboratório privilegiado para pesquisas científicas são afirmados como valores fundamentais para quaisquer considerações ou atividades no continente, que devem ser planejadas e conduzidas de forma a evitar impacto ambiental, priorizando a pesquisa científica (artigo III). O protocolo se aplica tanto a atividades governamentais como não-governamentais.

O artigo VII proíbe “qualquer atividade relacionada a recursos minerais, salvo pesquisa científica” por tempo indefinido, enquanto o protocolo estiver em vigor. De acordo com o artigo XXV, de forma semelhante ao que já havia sido estipulado no tratado, após cinquenta anos da entrada em vigor do protocolo (em 2048, portanto), qualquer Parte Consultiva pode solicitar uma conferência para sua revisão. Dessa conferência participarão todos os países contratantes do Tratado da Antártica e as decisões serão tomadas por maioria, desde que essa inclua três quartos das 26 Partes Consultivas existentes à época da entrada em vigor do protocolo. Até lá, a única forma de emendar ou modificar o acordo é por consenso e ratificação de todas as Partes Consultivas.

Os cinco anexos do protocolo, do qual são parte integral, especificam as normas de proteção ambiental. O Anexo I, sobre avaliação de impacto ambiental, estabelece que atividades com impacto ambiental pequeno ou transitório podem ser realizadas livremente na Antártica, desde que propriamente avaliadas pelos procedimentos específicos de cada país. Se o impacto não for considerado pequeno ou transitório, o anexo estabelece uma série de procedimentos para a avaliação do impacto ambiental da atividade.

O Anexo II estabelece normas de proteção a fauna e flora antárticas. Entre outras medidas, proíbe: matar, manejar, capturar, molestar ou ferir quaisquer animais; retirar plantas em grandes quantidades; perturbar a concentração de animais com máquinas e equipamentos; introduzir espécies não-nativas (inclusive cães, retirados completamente do continente em 1994) – salvo em situações de emergência ou explicitamente permitidas por autoridade competente. O anexo estende sua proteção a invertebrados e restringe a importação de animais vivos para consumo.

A disposição e o manejo de dejetos é o objeto do Anexo III, que estabelece procedimentos para disposição, armazenamento e remoção de dejetos de forma a minimizar o impacto ambiental das atividades humanas no continente. O Anexo IV estabelece normas bastante específicas para prevenção de poluição marítima.

O mais extenso é o Anexo V, que estabelece o regime de áreas protegidas da Antártica, proibindo, restringindo ou gerenciando de acordo com Planos de Gerenciamento adotados sob a égide do anexo. O regime divide as áreas protegidas em duas categorias: Áreas Especialmente Protegidas (*Antarctic Specially Protected Areas, ASPA*), onde é proibida a entrada, salvo permissão especial, e Áreas Especialmente Gerenciadas (*Antarctic Specially Managed Areas, ASMA*), locais de interesse histórico ou impacto ambiental acumulativo, onde é permitida a entrada, respeitando o estabelecido pelo anexo. A criação de ASPAs e ASMAs é decidida pelas ATCMs, mediante apresentação de Plano de Gerenciamento detalhado.

O Protocolo de Madri cria mais um órgão no STA, o Comitê para Proteção Ambiental (*Committee for Environmental Protection, CEP*), do qual fazem parte todas as Partes do Protocolo. O CEP se reúne paralelamente às ATCMs e sua função é formular recomendações em relação à aplicação do protocolo para apreciação das ATCMs. É órgão consultivo, sem poder de decisão, que tem por finalidade monitorar a aplicação do protocolo, avaliar potenciais riscos ao meio ambiente antártico e sugerir medidas de conservação. Em 2000, as Partes Consultivas se reuniram em Reunião Consultiva Especial para apreciar o primeiro relatório do CEP e adotar suas recomendações.

O artigo XIX prevê a criação de um Tribunal Arbitral para resolução de controvérsias quanto à aplicação do protocolo. Caso uma disputa não seja resolvida bilateralmente em um ano de consultas, essa deve ser encaminhada ao Tribunal Arbitral ou à Corte Internacional de Justiça (CIJ). Pelo artigo XX, questões referentes ao artigo IV do Tratado da Antártica (o imbróglho territorial) não são de competência do Tribunal Arbitral, nem da CIJ. Ao depositar a ratificação do protocolo, as partes devem especificar a qual dos dois



mecanismos de solução de controvérsia se submetem. O Tribunal Arbitral prevalece como fórum caso tenham sido escolhidos diferentes mecanismos. O tribunal é formado por três árbitros, provenientes de lista permanente – cada parte na disputa escolhe um árbitro, nacional de seu país; o terceiro árbitro, e presidente do tribunal, é escolhido em conjunto.

O Protocolo de Madri trouxe considerável avanço institucional, mas não é visto como inovação, dado que suas normas derivam de Recomendações anteriores das ATCMs, mas, ao entrar em vigor em 1998 e banir a exploração de recursos minerais, o protocolo consolidou tendência já registrada ao longo das ATCMs: a preservação ambiental e a cooperação científica como principais orientadores das atividades humanas ao sul do paralelo 60°.



# O BRASIL NA ANTÁRTICA

Armando Hadano





# O BRASIL NA ANTÁRTICA

O Tratado da Antártica prevê a possibilidade de adesão de qualquer país que seja membro das Nações Unidas. Porém, para que essa adesão seja efetivada, existem exigências importantes a ser cumpridas. Para que um país venha a se tornar Parte Consultiva do Tratado e ter direito a voz e voto nas reuniões anuais que tratam do futuro e da conservação do continente gelado, tem de realizar, entre outras coisas, substanciais atividades científicas naquela região.

Nesse contexto, o Brasil, sétimo país mais próximo da Antártica, não poderia se manter afastado dos interesses científicos sobre aquele continente.

Nossa participação e interesse pela Antártica remontam ao ano de 1882, quando a Corveta *Parnahyba*, sob o comando de Luiz Philippe de Saldanha da Gama, levou como passageiro o Dr. Luis Cruls, designado pelo imperador especificamente para a missão de observar a passagem do planeta Vênus pelo disco solar, tarefa esta realizada em 6 de dezembro daquele ano. Curiosamente, para essa expedição foram negados os recursos solicitados ao legislativo, tendo sido a viagem custeada pela ajuda pessoal de D. Pedro II.

Em novembro de 1961, o professor Rubens Junqueira Vilella, meteorologista, foi o primeiro brasileiro a pisar no Pólo Sul. No início de 2005 o professor Jefferson Cárdua Simões, foi o primeiro brasileiro a atravessar o continente antártico, atingindo o Pólo Sul Geográfico, realizando levantamentos glaciológicos e geofísicos do manto de gelo antártico.

A consciência de que o continente gelado possui grande influência no que ocorre em termos de clima na América do Sul e, é claro, no Brasil, a importância das correntes antárticas que fluem para o nosso litoral, a certeza de que devemos proteger esse santuário ecológico que guarda em seu seio parcela da história do nosso planeta, a vontade política de participar das decisões que definirão o futuro do continente antártico e a necessidade de realizar pesquisas científicas e tecnológicas que beneficiem a nação brasileira formaram o mosaico que nos impulsionou para aderir ao Tratado da Antártica, em maio de 1975, sendo criada pelo governo brasileiro, a partir daí, a estrutura legal e administrativa para fundamentar nossa presença na Antártica.

Foi então estabelecida uma Política Antártica (Polantar) e foram criados o Comitê Nacional para Assuntos Antárticos (Conantar) e o Comitê Nacional de Pesquisas Antárticas (Conapa). Com essa estrutura inicial, o governo atribuiu à Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (Cirm) a tarefa de desenvolver o Programa Antártico Brasileiro (Proantar), responsável por estabelecer as metas do país com relação à Antártica, atendendo aos interesses brasileiros.

E assim teve início a epopéia brasileira nesse continente gelado, desconhecido, com imensos segredos a desvendar e que o mundo tem firme interesse em preservar.

A adesão do Brasil ao Tratado da Antártica representou grande desafio ao país e a abertura de nova fronteira de pesquisa para a comunidade científica nacional, que passou a ter a oportunidade de desenvolver estudos na região.

## A PRIMEIRA EXPEDIÇÃO

Sete anos após a adesão do Brasil ao Tratado da Antártica, realizamos a primeira expedição ao continente Austral.

No verão de 1982/1983, os navios *Barão de Teffé*, da Marinha do Brasil, e *Professor Wladimir Besnard*, do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, foram equipados com instrumentos científicos e desempenharam papel fundamental como plataforma de pesquisas para o sucesso de nossa primeira viagem, uma vez que o Brasil ainda não possuía uma estação científica na Antártica.

O grande esforço nacional – científico, logístico e diplomático – foi muito bem sucedido, pois, ainda em 1983, como decorrência da relevância dos estudos científicos desenvolvidos, o Brasil foi elevado à categoria de Parte Consultiva do Tratado, o que significa dizer membro com direito a voz e voto, integrante de seletor grupo de, atualmente, apenas 29 países que decidem sobre as atividades e o futuro do continente branco.

A qualidade do programa científico brasileiro e os resultados daquela expedição contribuíram decisivamente para que o Brasil obtivesse seu segundo sucesso imediato, ao ser aceito, já em 1984, como membro pleno do Comitê Científico de Pesquisas Antárticas (*Scientific Committee on Antarctic Research* – SCAR), órgão internacional que promove e coordena a ciência antártica.

## INTERESSES DO BRASIL NA ANTÁRTICA

Podemos agrupar os interesses brasileiros na Antártica em quatro áreas: estratégica, científica, econômica e específica.

### INTERESSE ESTRATÉGICO

O mundo atual vive fases turbulentas em vários pontos dos cinco continentes, mas, ainda assim, o livre acesso a passagens críticas de navegação é assegurado. E, por isso, o continente assume, além de tantos outros papéis, o de eminentemente estratégico. A passagem entre os oceanos Atlântico e Pacífico pode ser efetuada pelo canal do Panamá, pelos pequenos canais do

Oceano Ártico, ou pelo estreito de Drake. O canal do Panamá encontra-se comprometido, não sendo possível a passagem de grandes navios, em função do calado e da largura dos navios modernos. Diante de tais circunstâncias, a passagem pelo estreito de Drake torna-se fundamental, tanto no aspecto da estratégia militar como no econômico. Assim, a passagem de Drake, que separa a Antártica do continente sul-americano, tem valor potencial como rota de navegação marítima, face à vulnerabilidade das demais.

## INTERESSE CIENTÍFICO

A condição do Brasil de país atlântico, situado, portanto, em área nas proximidades da região Antártica, e as influências dos fenômenos naturais que aí ocorrem sobre o território nacional, já de início, mais do que justificam o histórico interesse de cientistas brasileiros sobre o continente austral.

Além do quê, a pesquisa científica é a razão maior da presença brasileira na Antártica. Por desenvolver pesquisa de substancial importância, o Brasil é membro pleno do SCAR e, com isso, tem direito a participar dos grandes projetos científicos globais, desenvolvidos em parceria internacional na Antártica. A continuidade dessa pesquisa brasileira é condição essencial para que o país mantenha sua condição de Membro Consultivo do Tratado da Antártica.

O Programa Antártico Brasileiro promove de forma multidisciplinar e interinstitucional, pesquisas nas áreas de Ciências da Atmosfera, Ciências da Terra e Ciências da Vida e, ainda, pesquisas na área tecnológica.

Várias disciplinas estão envolvidas na pesquisa antártica, de modo a englobar todos os conhecimentos necessários. Entre elas: Matemática, Química; Física, Biologia, Português, Inglês, Direito e Diplomacia, Geografia, Medicina, Glaciologia, Meteorologia, Telecomunicações, Meteorologia, Astronomia e Astrofísica, Computação, Modelagem e Oceanografia.

A pesquisa antártica brasileira na área de Ciências Atmosféricas busca compreender a atmosfera antártica e sua influência sobre o clima no Brasil. Esses estudos permitem também o acompanhamento de fenômenos atmosféricos de grande escala, como a diminuição da quantidade do gás ozônio na atmosfera, conhecida como “buraco de ozônio”.

No domínio das Ciências da Terra são desenvolvidos projetos de Geologia, de Geofísica, Glaciologia e de Cartografia, abrangendo áreas continentais e marinhas.

As investigações na área de Geologia buscam o conhecimento e a interpretação da placa tectônica antártica, dos fundos marinhos e daquele que foi conhecido como Continente Gondwana, que incluía a África, a América

do Sul, a Austrália e a Antártica, continentes que se separaram devido às forças geológicas que atuaram durante milhões de anos.

As pesquisas glaciológicas visam à caracterização físico-química do manto de gelo no presente e a relação desse gelo com as condições ambientais atuais e no passado recente, possibilitando a reconstrução da história do clima na região.

No âmbito das Ciências da Vida, os estudos buscam desvendar os processos que regem a vida na Antártica, conhecer a estrutura e dinâmica dos ecossistemas marinhos e terrestres e compreender a evolução e as adaptações dos organismos antárticos às condições desse ambiente aparentemente tão adverso.

Na área tecnológica, o processo de corrosão de vários tipos de materiais diante da inclemência do clima, processos construtivos em áreas de baixas temperaturas, habitabilidade e conforto, incluindo o acústico, para o homem que se dispõe a ocupar o espaço na Antártica, entre outros.

O conhecimento gerado por essas pesquisas tem contribuído para a caracterização do ambiente antártico e de sua fragilidade, assim como vem fornecendo importantes subsídios para a avaliação dos efeitos de mudanças globais sobre o ecossistema antártico e mundial e nos ajuda a compreender processos geológicos, biológicos e hidrográficos importantes que ocorrem no Brasil.

## INTERESSE ECONÔMICO

Conforme mencionado anteriormente, as primeiras viagens nas imediações da Antártica foram movidas principalmente pelo interesse econômico que a caça e a pesca despertavam: a Antártica foi uma verdadeira fábrica de óleo de baleias na primeira metade do século XX.

Há ocorrências de vários minerais na Antártica, possivelmente até grandes reservas de petróleo, mas não há efetivamente confirmação desse fato. Provavelmente, a Antártica oferece condições propícias à existência de grandes reservas minerais, pois ela fazia parte de um supercontinente, a Gondwana, e em inúmeros fragmentos que se separaram dele foram encontrados minerais importantes.

Uma riqueza, no entanto, não pode ser contestada: a imensa reserva de água doce que a Antártica representa.

Tal quantidade já tem despertado o interesse de algumas nações ricas em petróleo e pobres em água potável: príncipes árabes já se mostram interessados em abrir empresas capazes de realizar o transporte desses enormes blocos de gelo (de água doce) até as áreas carentes de recursos hídricos.

Porém, não só os recursos minerais têm despertado o interesse e a cobiça de várias nações. Também os recursos disponíveis nos mares da Antárti-



ca têm sido motivo de estudos exploratórios, principalmente o krill que, conforme levantamentos internacionais, existe em um número tão grande no oceano antártico quanto o peso total da humanidade, ou seja, se todo o estoque de krill fosse capturado, cada homem ganharia uma sacola com o equivalente ao seu próprio peso.

O esgotamento de recursos não renováveis nos demais continentes será provavelmente o incentivo necessário ao desenvolvimento de tecnologia que possibilite a exploração dos recursos de forma racional e ecologicamente correta porém, somente às nações que incentivam as atividades de pesquisa será possível usufruir de forma limpa e sustentável dos recursos disponíveis na Antártica.

### INTERESSE ESPECÍFICO BRASILEIRO

Para os pesquisadores com atividades na Antártica, é comum receber questionamentos quanto aos interesses do Brasil na região, sendo tal questionamento seguido de afirmações do tipo: por que investir na Antártica se não conseguimos resolver ainda nossos problemas internos?

O Brasil, assim como os demais países membros do Tratado Antártico, possui interesses nos aspectos estratégico, econômico e científico, conforme vimos anteriormente, embora, pela proximidade do continente, muitas vezes esses aspectos sejam bem delineados, como por exemplo, nas pesquisas meteorológicas, em que a previsão antecipada de frentes frias traz contribuições consideráveis para a agricultura, mesclando o interesse científico com o econômico. É conhecido, por exemplo, o fenômeno da 'friagem' da Amazônia, uma queda acentuada da temperatura, resultante da chegada, até a linha do equador, de frentes oriundas de grandes invasões de massa polar através do continente sul-americano.

De modo geral, podemos resumir o interesse da participação do Brasil na Antártica nos seguintes itens: a) situação geográfica do Brasil, no tocante ao continente antártico, sujeitando o país, diretamente e constantemente, a fenômenos meteorológicos e oceanográficos que lá têm sua origem; b) há indícios muito significativos da existência de imensas reservas de recursos minerais, tanto em solo antártico como em sua plataforma continental; c) as águas antárticas sustentam fauna marinha abundante, passível de exploração em grande escala; d) a intensificação do tráfego marítimo internacional pelas rotas do Cabo e dos estreitos de Drake e de Magalhães, com reflexos ponderáveis nas águas jurisdicionais brasileiras; e) o interesse cada vez maior da comunidade internacional quanto à Antártica, com implicações decisivas nas relações entre os Estados e no Direito Internacional.

Metade de nossa costa é atingida pelos ventos da região, e as correntes marinhas trazem recursos vivos, nutrientes e oxigênio para o nosso litoral.

E até a vantagem da sobrevivência: a Região Sul de nosso país depende muito da região Antártica; grande parte de nosso pescado é influenciado pelas massas de água provenientes do oceano austral. Podemos ainda acrescentar que o Brasil tem certos compromissos e vantagens, como intercâmbios científicos, tecnológicos e comerciais, havendo o interesse político internacional de boas relações entre países com os mesmos objetivos.

## A PRESENÇA DO BRASIL NA ANTÁRTICA

O Brasil concentra suas atividades na Península Antártica, assim como grande parte dos países que desenvolvem pesquisas naquele continente. Isso se justifica em função de essa região apresentar condições climáticas mais amenas e por ser geograficamente mais acessível. A Península é a única massa continental que está fora do limite do Círculo Polar Antártico, tem sua extremidade no paralelo de 63° S e é banhada pelos mares de Weddell e de Bellingshausen.

A Península é de formação vulcânica ainda ativa e demonstrou essa afirmação em 1967, com a erupção do vulcão na Ilha Decepcion, ocasionando o soterramento de uma base chilena, abandonada desde então. Em 1978, o vulcão voltou a agitar-se, mas dessa vez sem maiores conseqüências.

Da Península Antártica, interessa-nos particularmente as Ilhas Rei George, Elefante e, em menor escala, a Ilha Nelson, visto que as edificações brasileiras encontram-se nessa região.

O Proantar tem se dedicado também ao estudo do estado do meio ambiente da Baía do Almirantado e ao desenvolvimento de programa de monitoramento de longo prazo, que foi considerado modelo para outros países que atuam na Área do Tratado da Antártica.

Além disso, cada vez mais cientistas brasileiros têm estudado outras áreas marinhas, terrestres e atmosféricas, através de participação em programas científicos internacionais com outros países que conduzem seus programas Antárticos em outras regiões, seja em Estações de Pesquisa, seja em navios.

## ESTAÇÃO ANTÁRTICA BRASILEIRA COMANDANTE FERRAZ

A estação brasileira foi instalada no verão de 1984 – quando o *Barão de Teffé* transportava os oito módulos que constituíram o início da Estação Antártica Comandante Ferraz, inaugurada no dia 6 de fevereiro de 1984 e que contava com casa de motores, dormitórios, cozinha, refeitório, equipamentos

de radiocomunicação e sistema de aquecimento de neve e gelo para abastecimento de água, aproveitando o calor dos gases de descarga dos motores geradores.

Hoje, a Estação Ferraz não é mais modular e possui compartimentos de dimensões variadas, construídos em aço carbono corrugado. Além de camarotes, banheiros e alojamentos que podem acomodar até 58 pessoas, a estação dispõe de sala de estar/jantar e copa/cozinha, biblioteca e sala de computadores, enfermaria e pequeno centro cirúrgico, sala de ginástica e oficinas de veículos, despensa e lavanderia. Há 13 laboratórios destinados às ciências biológicas, atmosféricas e químicas. E há, ainda, módulos de apoio logístico à estação em construções separadas do conjunto principal.

Tanques de combustíveis abastecem veículos tais como tratores, motos de neve, quadriciclos, lancha, botes e balsas e os geradores que fornecem energia à estação.

Os mantimentos – alimentos e bebidas – e os produtos de limpeza são armazenados para o consumo de um ano. O sistema de comunicação de Ferraz é bastante eficaz e se constitui de telefone, rádio, internet e mesmo correio, já que os vãos de apoio transportam malas postais. O serviço postal, no entanto, embora mantenha seu charme para os missivistas e sua utilidade para os filatelistas, perdeu terreno, como em toda parte, para a internet. Os computadores da sala de informática, ligados ininterruptamente à rede mundial, permitem comunicação mais ágil, fornecendo aos pesquisadores excelente ferramenta de trabalho.

## COMO CUIDAMOS DO MEIO AMBIENTE NA ESTAÇÃO FERRAZ

A própria presença do ser humano na Antártica já causa impacto no ambiente. Para minimizá-lo, são tomados todos os cuidados possíveis. Essa ação do Proantar tem obtido tanto sucesso que já mereceu elogio do Greenpeace e o reconhecimento internacional.

O Brasil tem adaptado suas atividades às regulamentações do Protocolo de Madri, estando na vanguarda dos fatos, pelo exemplar manejo ambiental na Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), e por ter apresentado, em conjunto com a Polônia, o Peru, os Estados Unidos e o Equador, proposta que considera a Baía do Almirantado, a primeira Área Antártica Especialmente Gerenciada (AAEG – ASMA em inglês). O propósito da AAEG é assegurar o planejamento e a coordenação das atividades em uma área específica, reduzindo possíveis interferências e promovendo a cooperação entre as Partes Consultivas do Tratado da Antártica, minimizando o impacto ambiental.

As ações de conservação ambiental são pautadas por atitudes sistematizadas quanto a dejetos, condutas, etc.

### **Lixo**

O lixo produzido na EACF é transportado de volta ao Brasil ou destruído no local, o que minimiza os resquícios da atividade humana no ambiente.

Papel e metal são pressionados e acondicionados em caixas de marfinita, o vidro também é acondicionado em caixas. O lixo orgânico é queimado e as cinzas resultantes são transportadas para o Brasil. Na saída do incinerador para a atmosfera há filtros para amenizar o impacto no ambiente externo. Óleo queimado e compostos químicos são colocados em galões e levados de volta ao país. O mesmo ocorre com os resíduos sólidos do esgoto.

### **Esgoto**

O sistema de esgoto de Ferraz é um sistema secundário, que aparentemente é suficiente para manter minimamente a interferência nas condições naturais do ecossistema circundante.

O esgoto proveniente dos vasos sanitários é recolhido por um encanamento revestido de isolantes térmicos, que consistem de espuma, além de resistência elétrica, o que evita que o esgoto se congele. No verão, a resistência elétrica é desligada e o esgoto é recolhido em um sistema de quatro fossas, que são divididas em três partes, correspondentes a três etapas de tratamento – decantação, decomposição e depuração.

A caixa de gordura é mantida aquecida também por resistência elétrica e é esvaziada, regularmente, pelo Grupo Base. O aquecimento da fossa consiste em resistência elétrica e também em tubulação com água proveniente da caldeira, com temperatura de 30 a 35° C, o que ajuda na decomposição e impede que o esgoto se congele. Preferencialmente, o aquecimento é mantido pela água quente, mas caso seja necessário, há um termostato que aciona a resistência elétrica.

A fossa é esvaziada anualmente na troca de equipes e o conteúdo colocado em sacos plásticos e em caixas de marfinita e levados para o Brasil. As águas restantes são filtradas em filtros de brita. Há um coletor, após todo o processo, para verificar a eficiência do tratamento. Após todo este processo, as águas são finalmente lançadas em um emissário próximo à costa (20 m de distância), a pouca profundidade.

### **ÓLEO**

A estação contém 17 tanques de óleo interligados. São consumidos 320 mil litros por ano. Durante 12 meses (com término em fevereiro), é consumido o conteúdo dos 17 tanques – que começam a ser reabastecidos com a chegada do navio, em novembro.

O abastecimento, a partir do navio, é feito por uma chata de óleo que também possui paredes duplas, onde são colocados protetores embaixo da mangueira para evitar que o óleo derrame em caso de vazamento. Durante todo o ano, mesmo no inverno, quando o gelo tem de ser escavado, o nível do óleo é medido nos tanques para se certificar de que não há vazamento.

É o óleo que mantém viva a estação. Ele é utilizado para gerar energia e para aquecer a água. O resultado da queima do óleo é liberado para a atmosfera por dois exaustores localizados atrás do módulo. A cada mês as pastilhas do catalisador (filtro) são trocadas.

#### **PLANO DE EMERGÊNCIA**

O Programa Antártico Brasileiro possui um plano de emergência para contenção de óleo em caso de derramamento acidental. O material a ser utilizado consiste em acessórios flutuantes para segurar um cordão contendo material absorvente. Esse material é levado por botes até o local afetado e com ele a mancha de óleo é contornada, buscando absorver o óleo e evitando que ele se espalhe. O Grupo Base recebe treinamento para efetuar tal operação.

#### **MENTALIDADE AMBIENTAL**

Parte do treinamento antártico é a incorporação de uma mentalidade ambiental. As Operações Pente Fino, quando todos os que estão na estação fazem um mutirão para coletar qualquer lixo encontrado nos arredores da estação, servem para alertar as pessoas do cuidado com o meio ambiente. A separação do lixo e o cuidado com a estação, que se aprende com os dias de serviço, são importantes para consolidar e internalizar o valor de cuidar e a disseminar a conduta consciente no ambiente antártico.

## **NAVIOS ANTÁRTICOS BRASILEIROS**

Os navios brasileiros empregados em pesquisa e apoio logístico na Antártica são fatores essenciais ao sucesso e à consolidação do Programa Antártico Brasileiro. Em 1986, o Navio Oceanográfico *Professor Besnard* fez a última de suas seis viagens à Antártica. O Navio Oceanográfico *Almirante Câmara* realizou duas importantes expedições de caráter geofísico. O Navio Oceanográfico *Almirante Álvaro Alberto* realizou uma expedição de apoio logístico.

O lendário navio polar *Barão de Teffé*, depois de 13 comissões antárticas foi substituído, em 1994, pelo Navio de Apoio Oceanográfico *Ary Rongel* – que até hoje presta apoio logístico à Estação Ferraz e aos refúgios e acampamentos, assim como realiza pesquisas oceanográficas nos mares austrais e transporta os pesquisadores para as regiões mais afastadas onde realizam seus trabalhos.

## PARCEIROS NO PROGRAMA ANTÁRTICO BRASILEIRO

O Programa Antártico Brasileiro é gerido por uma parceria entre ministérios, uma agência de fomento e vários outros órgãos governamentais e empresas públicas e privadas. Efetivamente, participam do Proantar os Ministérios da Defesa, das Relações Exteriores, da Ciência e Tecnologia, da Educação, do Meio Ambiente, do Turismo e representantes da Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). No ministério da Defesa, a Marinha e a Aeronáutica são responsáveis pelo apoio logístico. Como empresas, temos a Petrobras e a Telemar como as mais importantes atualmente.

As diretrizes e objetivos políticos e científicos do Programa Antártico Brasileiro estão expressos na Política Antártica Nacional (Polantar), promulgada em 1987, elaborada pela Comissão Nacional de Assuntos Antárticos (Conantar), a cargo do Ministério das Relações Exteriores.

O Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) é responsável pela definição da política científica e assuntos científicos antárticos do Proantar, principalmente através do Comitê Nacional de Pesquisas Antárticas (CoNaPA).

O CoNaPA entre outras atribuições, constitui-se em foro de debates científicos entre as instituições que desenvolvem pesquisas e/ou estudos antárticos bem como órgão difusor das atividades antárticas. Sempre que possível e conveniente busca-se alinhar a pesquisa brasileira às diretrizes SCAR que, em verdade, define os grandes projetos internacionais da ciência antártica.

O Proantar é gerenciado no aspecto científico pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Ao CNPq cabe o financiamento e a coordenação da execução das pesquisas, realizadas por universidades e outras instituições, além da formação de pesquisadores com conhecimento sobre a Antártica. Para o exame dos projetos, a agência conta com Grupo de Assessoramento (GA), que só aprova projetos que tenham mérito científico. Os projetos de pesquisa são selecionados tendo em vista sua vinculação às questões científicas referentes ao ambiente antártico, terrestre ou marinho, e à competência científica do pesquisador ou grupo proponente. O CNPq responde ainda pela concessão de bolsas de formação de recursos humanos.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) procura garantir que as atividades brasileiras desenvolvidas na Antártica cumpram as regras internacionais com vistas a minimizar o impacto da presença humana em solo antártico. Cabe ao MMA a atribuição de coordenar o Grupo de Avaliação Ambiental do Proantar (GAAM), encarregado de avaliar o impacto das

atividades brasileiras no ambiente antártico. É também atribuição do MMA disseminar a consciência ambiental e incentivar a conduta consciente no ambiente antártico.

O Ministério da Educação (MEC) é forte parceiro na difusão do conhecimento, de modo a ampliar a percepção de todos da importância da participação brasileira nas pesquisas antárticas. Participa também, através da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (Capes), estimulando a criação de novos grupos de pesquisa.

O Ministério de Minas e Energia (MME) fornece por intermédio da Petrobras, combustíveis especialmente desenvolvidos para regiões geladas, essenciais ao abastecimento dos motores geradores da estação, à propulsão do navio polar e das embarcações, dos helicópteros, dos veículos terrestres e das aeronaves da Aeronáutica que apóiam o Proantar.

Além disso, o Ministério da Defesa (MD) atua no Proantar por intermédio dos Comandos da Marinha e da Aeronáutica. A Marinha do Brasil sedia a Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (Secirm), que gerencia o Proantar, planeja as Operações Antárticas e financia o segmento logístico do programa, realizando a manutenção da Estação Ferraz, dos refúgios e acampamentos, além da Estação de Apoio Antártico, na Fundação Universidade do Rio Grande. A Força Aérea Brasileira realiza, com aeronaves C-130, os vôos de apoio ao Proantar.

## OPERAÇÃO ANTÁRTICA

O trabalho do Programa Antártico Brasileiro é dividido em operações anuais para efeito de sistematização. O ano antártico contempla o verão e invernos austrais, o primeiro de outubro a fevereiro, e o segundo de março a setembro. Cada operação antártica tem início em outubro, com a saída do Navio de Apoio Oceanográfico *Ary Rongel* do porto do Rio de Janeiro, levando pessoal e suprimentos. Vão no navio os pesquisadores que farão coletas de dados ou observações científicas ao longo da viagem, além dos militares que darão apoio à pesquisa científica, membros do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro que anualmente fazem a manutenção da estação e, obviamente, a tripulação do navio.

Os suprimentos são os necessários para reabastecimento da Estação Ferraz, equipamentos científicos, combustíveis para abastecimento da Estação, das embarcações e aeronaves.

Do Rio de Janeiro, o *Ary Rongel* segue até a cidade de Rio Grande/RS – onde está instalada a Estação de Apoio Antártico (Esantar) – para embarque

de equipamentos científicos e dali segue para o arquipélago das Shetlands do Sul, fundeando na enseada Martel, na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, onde está instalada a Estação Ferraz. Pessoal e equipamentos são levados à estação por meio de bote, lancha ou helicóptero.

O outro meio de acesso a Ferraz é por um dos vôos anuais realizados em avião Hércules C-130, da Força Aérea Brasileira. No período do verão austral são realizados quatro vôos, que têm início no Rio de Janeiro, com escalas em Pelotas e Punta Arenas, e seguem até a Base Presidente Eduardo Frei Montalva (chilena), que é provida de um campo de pouso para aeronaves e se situa na mesma ilha da estação brasileira. O percurso entre Frei e Ferraz se faz em meia hora de helicóptero ou três horas de navio. Os vôos permitem a substituição de pesquisadores, possibilitando a realização de maior variedade de pesquisas.

No inverno, os vôos de apoio das aeronaves da Aeronáutica levam suprimentos para reabastecimento da Estação e fazem lançamento de carga na área da estação, com o uso de pára-quedas, tendo em vista a dificuldade de acesso à Estação nessa época do ano. A técnica desenvolvida pelas equipes da FAB lhes permite lançar material, gêneros e equipamentos, às vezes frágeis, com grande precisão e segurança. Consta que até caixas de ovos chegam ao solo com todos os ovos inteiros.

No mês de março, o *Ary Rongel* volta ao Brasil, trazendo os dez militares que durante um ano permaneceram na Antártica, eventualmente alguns pesquisadores, equipamentos e amostras coletadas, assim como os resíduos produzidos por brasileiros na área do Tratado da Antártica.

Os cientistas prosseguem em suas pesquisas, agora em laboratórios no Brasil, enquanto a parte administrativa do Programa Antártico Brasileiro cuida da preparação da operação seguinte, em áreas tão diversas como acordos de cooperação internacional, busca de recursos e inclusão do Proantar no orçamento da União, manutenção do navio e aeronaves, avaliação e seleção de projetos.

## TREINAMENTO ANTÁRTICO

Existe um treinamento para o pessoal que participa das expedições à Antártica, com os objetivos, entre outros de proporcionar subsídios visando a execução dos trabalhos com um máximo de segurança e promover, o mais cedo possível, a integração do grupo. Para atingir esses propósitos, estão planejadas as seguintes fases:

### TREINAMENTO BÁSICO

Com instrução de montanhismo e sobrevivência no gelo. Destinado aos pesquisadores cujo trabalho exija tal conhecimento, os instrutores são do



Clube Alpino Paulista e do Batalhão de Operações Especiais do Corpo de Fuzileiros Navais – Marinha do Brasil – havendo um acompanhamento pelo Chefe da Estação e por psicólogos.

#### **TREINAMENTO PRÉ-ANTÁRTICO**

Realizado na Ilha da Marambaia, no Rio de Janeiro, em setembro, com instrução de primeiros socorros e higiene, sobrevivência no gelo e no mar, orientação e navegação terrestre, vida a bordo de navios, na Estação Antártica e nos refúgios, combate a incêndio e montanhismo, sempre com ênfase na prática desses assuntos, dentro das limitações óbvias de condições climáticas e do terreno. Em linhas gerais, visa a ministrar, aos pesquisadores, conhecimento sobre os procedimentos de segurança inerentes à vida a bordo e no ambiente antártico, além de promover a integração dos diferentes grupos envolvidos.

#### **TREINAMENTO ESPECIALIZADO**

Visa a habilitar pessoal especializado para operação e manutenção dos equipamentos, motores, veículos, embarcações e instalações da Estação Antártica, bem como em áreas afins à sua especialidade. Envolve estágios e cursos em unidades da Marinha e em empresas fornecedoras de equipamentos.

#### **TREINAMENTO COMPLEMENTAR**

Visa a desenvolver, com os tripulantes, práticas de primeiros socorros, orientação e navegação terrestre, sobrevivência, treinamento físico e marchas em terreno montanhoso, além de enfatizar a integração do grupo.

### **PROANTAR – UMA CONQUISTA NACIONAL**

Foram muitas as dificuldades a vencer, mas nosso espírito desbravador e nossa tenacidade fizeram do Programa Antártico Brasileiro uma vitória que terá bons resultados, não só para a nação brasileira, mas contribuirá para o avanço do conhecimento de toda a humanidade.

Mas estamos apenas no começo. Muito ainda temos a fazer, em várias áreas do conhecimento científico, tecnológico, logístico e ambiental.

Também o avanço das práticas e tecnologias no mundo nos obrigam a estar sempre atualizando nossas instalações, equipamentos de apoio e de pesquisa.

E no meio de toda essa aventura, precisamos do elemento fundamental em todo o trabalho: homens e mulheres que venham se dedicar a essa caminhada, estudando e se especializando nos assuntos ligados à Antártica. Lá, as palavras de ordem são solidariedade e apoio mútuo.

Na Antártica todos trabalham para o bem comum da humanidade. É um sonho que nós, brasileiros, orgulhosos, estamos ajudando a construir.



# TECNOLOGIA ANTÁRTICA





# TECNOLOGIA ANTÁRTICA

No continente antártico, único em que o homem não é originário, a vida humana não seria possível sem o advento da tecnologia que permitiu a implantação de moradias, seja para abrigar atividades exploratórias, como ocorreu no início da ocupação da Antártica, seja para atividades científicas, principal função atual das bases e estações instaladas. Atualmente, de toda sua enorme área continental, apenas uma fração insignificante é ocupada pelas estações científicas, basicamente ocupadas por pessoal civil que, muitas vezes, recebem apoio logístico de militares.

Essas estações estão localizadas principalmente no litoral do continente e na região da Península Antártica, pois são áreas de mais fácil acesso e onde as condições climatológicas são mais amenas, o que facilita o trabalho e o desenvolvimento de qualquer atividade científica ou de apoio e manutenção às instalações. Mesmo assim, pode-se afirmar que esta não é uma região de fácil adaptação ao homem.

Sendo o continente o mais isolado, o mais frio, o mais ventoso e o mais seco da Terra, a presença de seres humanos tem de ser apoiada por uma complexa estrutura logística, que deve prover condições para a sobrevivência e a permanência segura do homem na região.

É importante lembrar que o continente não possui nada que facilite a vida humana, motivo pelo qual não existiam populações nativas antes do advento da tecnologia. Não existem árvores, o solo é demasiadamente estéril para o desenvolvimento da flora ou de qualquer forma de agricultura e as condições do tempo são sempre instáveis, oscilando, em poucas horas, de um céu límpido e azul para tempo encoberto, com neve e ventos fortes, que podem alcançar velocidades incríveis, já tendo sido medido vento de 192 km/h. Para efeito comparativo, em grande parte do território brasileiro, velocidade do vento superior a 80 km/h costuma causar grandes prejuízos, como o destelhamento de casas e destruição de pequenas edificações.

O frio intenso é outro fator importante a se considerar para a adaptação do homem ao ambiente. As temperaturas médias anuais variam de 0°C (verão) a -15°C (inverno) no litoral e de -32°C (verão) a -65°C (inverno) no interior do continente. A menor temperatura já registrada na Antártica foi de -89°C, na estação Vostok (ex-URSS), em junho de 1983, sendo essa também a menor temperatura ambiente já medida na Terra.

Por outro lado, pelo fato de o continente ter sido descoberto há menos de duzentos anos, não existe grande quantidade de dados experimentais que



*Alguns dos vários tipos de vestimenta disponíveis no Programa Antártico Brasileiro. A adoção de cores fortes deve-se à necessidade de sinalizar na imensidão e grandeza do ambiente antártico*

possam indicar com segurança quais seriam as melhores soluções para a vida de comunidades na Antártica. Mesmo com o avanço da tecnologia e com o aumento fantástico da presença humana em inúmeras expedições científicas e nas dezenas de bases e estações ali implantadas, tudo tem uma forte parcela de novidade.

O estudo tecnológico está presente desde pequenos detalhes – como o desenvolvimento de roupas apropriadas – até grandes questões, como meios de transporte, tecnologias construtivas, equipamentos científicos, etc.

Citando o vestuário como exemplo, cada situação requer uma solução diferenciada: quem tem de fazer caminhadas no litoral em áreas livres de gelo deve estar abrigado de forma completamente diferente daqueles que realizam longos percursos no gelo, assim como os que permanecem em navios vestem-se de forma diferente daqueles que ficam em bases e estações em terra. Pequenos detalhes, como os minúsculos orifícios das costuras, por exemplo, podem ocasionar grande desconforto na presença de ventos, motivo pelo qual são colocadas diversas camadas de tecido com costuras desencontradas, dificultando assim a entrada do vento.

Já na área das construções, logicamente as questões relacionadas ao frio intenso e à distância dos centros urbanos são os principais elementos a ser considerados, mas não se pode esquecer de que o isolamento da região, a inexistência de grandes aglomerações humanas e as dificuldades de transporte obrigam a uma convivência quase que confinada nos locais das estações e acampamentos. Nessas situações, além das condições biológicas de sobrevivência humana, também as variáveis psicológicas são extremamente relevantes no planejamento das edificações. O arranjo de espaços deve considerar desde as áreas comunitárias – como o local das refeições, eventuais áreas para lazer, os laboratórios de pesquisas, etc. – até mesmo a previsão de áreas onde a intimidade deva ser preservada, como os camarotes e sanitários.

Os termos do Tratado da Antártica prevêm a troca constante de informações e a publicidade dos resultados de todas as pesquisas, enfatizando assim a aquisição de conhecimento pela experiência alheia. No entanto, ainda se está longe de saber quais são as melhores soluções para cada caso, pela diversidade de formas das estações, dos materiais e das técnicas

de construção empregadas, bem como a grande variedade de roupas e equipamentos utilizados pelos diversos países.

É importante salientar também que cada solução adotada na Antártica deve estar profundamente alicerçada na realidade econômica e tecnológica do país de origem, já que, ao se “comprar” tecnologia pronta, desenvolvida por outro país, se estabelece uma indesejável relação de dependência. É semelhante à situação, por exemplo, de comprar um equipamento no exterior e, na eventual quebra desse equipamento, descobrir a inexistência, no Brasil, de peças e pessoal capacitado para fazer o reparo.

Embora o interesse brasileiro por realizar pesquisas na Antártica remonte ao final do século XIX, a primeira expedição oficial ao continente gelado só aconteceu no final de 1982, quando havia um navio apropriado disponível para a tarefa, o *Barão de Teffé*, adquirido pela Marinha do Brasil, especificamente para a missão. Foi assim que o país iniciou, em maior escala, suas pesquisas na Antártica, dando prosseguimento à reafirmação de nosso interesse em participar, efetivamente, do Tratado da Antártica, ao qual o Brasil aderiu em 1975.

Antes disso, oficiais de Marinha, com o apoio do Chile e da Inglaterra, realizaram algumas viagens à região, adquirindo um mínimo de experiência até que se pudesse dar um passo maior em direção ao objetivo de implantar uma estação brasileira. Assim, a cooperação e a troca de conhecimentos entre nações começavam a sair dos acordos firmados em papel para tornar-se uma realidade efetiva.

A primeira expedição teve por principal objetivo escolher o futuro local onde seria implementada a estação brasileira, que deveria obedecer a diversos parâmetros, oriundos das limitações tecnológicas, tais como:

- Terreno com pequena declividade: o sistema construtivo não foi projetado para desníveis.
- Existência de facilidades para a obtenção de água: o derretimento de neve é um processo que demanda muita energia para pouca produção efetiva de água doce.
- Facilidade de acesso para navios e aeronaves: pela necessidade do uso de navios, embarcações miúdas e aeronaves para as futuras atividades logísticas necessárias para a manutenção dos brasileiros na estação.
- Área com interesse científico: preferencialmente que ainda não tivesse sido explorada e que possibilitasse pesquisas contínuas.
- Proximidade de outras estações: que fosse afastado de outras instalações existentes, a fim de evitar eventuais conflitos de interesses, porém, que fosse próximo o suficiente para permitir intercâmbios e busca de socorro, se necessário.

Esse trabalho foi bastante difícil, pois as melhores áreas já estavam ocupadas por outros países. Assim, a escolha recaiu em uma área da Península Keller, anteriormente ocupada por noruegueses na década de 1940, interessados na pesca de baleia e posteriormente por ingleses, voltados para os interesses científicos. O conjunto de edificações, denominada por seus últimos habitantes como Base G, foi desativado em 1961, e o registro dessas ocupações está presente até hoje, seja pela presença de um antigo barco baleeiro, pelas ossadas de baleia espalhadas pela praia, ou mesmo pela presença de quatro cruzeiros que, simbolicamente, representam a morte dos últimos pesquisadores ingleses que habitaram o local.



*Península Keller, Ilha Rei George, pertencente ao Arquipélago das Shetland do Sul na Península Antártica*

É curioso observar que as edificações que compunham a Base G, até o início de seu desmonte em 1987, possibilitaram um grande avanço dos conhecimentos tecnológicos referentes ao comportamento da madeira, já que observações sistemáticas permitiram concluir que a madeira tem grande durabilidade na Antártica em função de não ser atacada por fungos e insetos, que inexistem na região.

A segunda decisão importante quanto à futura estação foi sobre o sistema construtivo a ser usado. A escolha recaiu em

adotar o sistema de contêineres, semelhantes àqueles usados para o transporte de carga em navios, por ser facilmente transportados inteiros, reduzindo o tempo de montagem em terra e, se necessário, permitindo também o eventual traslado de toda a estação para outro lugar.

Os oito módulos iniciais, cinco para habitação e três para serviço, foram construídos com chapas de aço corrugado, com forração de madeira, isolante térmico entre o aço e a madeira e sistema de calefação interna. Algumas dessas unidades foram interligadas entre si por pequenas conexões, formando corredores. Ocupando uma área total de aproximadamente 250m<sup>2</sup>, tinha um dos módulos destinado ao suprimento de energia elétrica, outro para mantimentos e um terceiro para uso geral como oficina, abrigo de bombas para suprimento de água e serviços diversos. Os demais contêineres eram para uso como camarote, cozinha, sanitário e minilaboratório. O projeto previa condições de suportar as baixas temperaturas (até -35° C) e ventos de até 200 km/h.

Os módulos saíram do Brasil montados, desembarcaram por meio de chatas e foram instalados e conectados entre si sobre um alicerce previamente preparado.



Esse trabalho pioneiro durou, no Brasil, quatro meses, entre projeto e fabricação, e doze dias para a montagem na Antártica. Tudo era novidade e exigia soluções ímpares, desde a escolha do material dos acessórios – como canalizações, válvulas, tipo de janelas, etc. – até a escolha do combustível para os geradores, que deveriam permanecer fluidos, sem congelar, em qualquer condição de tempo.

Esses passos iniciais, extremamente importantes, foram realizados por pessoas que não possuíam experiência em trabalhos na área polar, por isso representam uma vitória do brasileiro, que viu seu sonho de ter uma estação brasileira na Antártica concretizado no dia 6 de fevereiro de 1984.

A estação foi batizada como Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), em homenagem a um oficial da Marinha, hidrógrafo e oceanógrafo, Luiz Antonio de Carvalho Ferraz (1940–1982), que teve contribuição destacada na gênese do Programa Antártico Brasileiro (Proantar).

Com o passar do tempo, as necessidades dos pesquisadores foram crescendo e com elas o tamanho da Estação. Foram acrescentados vários outros módulos e ampliada a sua área total.

Embora apoiados por estudos e projetos, muita coisa foi e é feita com base no método de “tentativa, erro e correção”. Porém, não se pode negar que o sucesso da estação é devido principalmente ao esforço, à dedicação e à criatividade dos brasileiros que nos últimos vinte anos trabalharam nas operações antárticas.

O aprendizado tem sido grande, não só com as próprias experiências desenvolvidas, mas, também, com a observação de erros e acertos de outros países que possuem estações no continente gelado. Esse aprendizado, ou seja, o desejável desenvolvimento tecnológico, ocorre basicamente por meio de quatro fontes:

1. Pelas atividades sistemáticas e continuadas das pesquisas tecnológicas desenvolvidas pelo Brasil com as universidades e centros de pesquisas.
2. Pela experimentação, mediante observação de erros e acertos, especialmente nas atividades logísticas.
3. Pelas observações das soluções adotadas por outros países em situação semelhante à capacidade tecnológica brasileira.
4. Pelo intercâmbio de conhecimentos possibilitado pelos simpósios e reuniões internacionais.

O sucesso da implantação da estação fez com que, somente dois anos após sua inauguração, fosse ampliada de 8 para 32 módulos, ocasionando um

crescimento considerável tanto na infra-estrutura instalada como no próprio Proantar. Posteriormente, até 2005, a continuidade do crescimento deu-se aos poucos, isto é, em cada operação antártica era feita uma pequena parte, com acréscimos ao corpo principal da estação, construção de unidades isoladas, próximas a esse corpo principal, para atender a pesquisas científicas especiais.

Também foram construídos, em regiões mais distantes da EACF, refúgios que atenderiam aos pesquisadores com necessidades de estudar a vida animal e vegetal de outras regiões que não a Península Keller. Entende-se por “refúgio” uma pequena edificação, semelhante a um trailer, instalado em locais de interesse científico e que deve dar condições de vida e segurança para equipes de 4 a 6 pessoas, que permanecem de 30 a 45 dias no local, distantes de outras bases ou estações antárticas.

O Brasil já teve 4 refúgios chamados de: Astrônomo Cruels, em homenagem a um ex-diretor do Observatório Nacional; Engenheiro Wiltgen, em homenagem ao fundador e primeiro presidente do Instituto Brasileiro de Estudos Antárticos; Padre Balduino Rambo, botânico e geógrafo do Rio Grande do Sul e Emilio Goeldi, naturalista suíço radicado no Brasil. Por contingências operacionais, os refúgios Rambo e Wiltgen foram desmontados e todo o material retornou ao Brasil, com ressalva quanto à necessidade de desenvolver tecnologias construtivas que permitam a total retirada das edificações quando encerrado seu tempo de vida útil.

Em 2004, vinte anos após os pioneiros desembarcarem os primeiros oito módulos, a EACF já contava com mais de 60 unidades, incluindo camarotes para o grupo-base, que garante e cuida da manutenção e operação da EACF, camarotes para os pesquisadores, alojamento adicional para até 12 pessoas, banheiros masculino e feminino, sala de estar/jantar, biblioteca, centro de processamento de dados, cozinha, armazéns, lavanderia, ginásio esportivo, enfermaria, centro cirúrgico emergencial, laboratórios diversos, oficina mecânica, eletrônica e de carpintaria, sala de rádio, câmaras frigoríficas, incinerador para os resíduos orgânicos, auditório, sala de secagem de roupas, serviço de captação de água, salas para os geradores principais e gerador de emergência, heliponto, veículos diversos para transporte de carga e para deslocamento, além de laboratórios instalados em unidades isoladas – de meteorologia, de química, para estudo da camada de ozônio, para o estudo da propagação ionosférica e para ciências atmosféricas em geral – e outros próximos ao corpo principal da estação, como três laboratórios de múltiplo uso, dois de aquário e dois de biologia.

Uma outra unidade isolada funciona como estação rádio de emergência – que como o próprio nome diz, é previsto para utilização em caso de emergência

– e um pequeno refúgio, próximo à estação, abastecido com materiais, equipamentos e mantimentos essenciais à sobrevivência humana. As duas unidades citadas – rádio de emergência e refúgio – são estrategicamente posicionadas para que, os ocupantes de Ferraz tenham como comunicar-se e sobreviver até a chegada de socorro, caso ocorra algum tipo de acidente na estação, como um incêndio, por exemplo.

Passados 22 anos, a EACF se ressentiu da deterioração constante causada pelas condições difíceis da região. A corrosão e a desatualização se fizeram sentir, exigindo um grande programa de revitalização. Assim é que o Proantar desenvolveu o denominado *Plano Diretor* para atualizar a EACF, sendo os estudos desenvolvidos e aperfeiçoados nos últimos anos, aproveitando-se a experiência adquirida nos anos passados.

Entende-se por *Plano Diretor* um conjunto de desenhos, projetos, mapas, relatórios e documentos que objetivam criar instrumentos – como as recomendações de como as edificações podem crescer ao longo do tempo, por exemplo – que auxiliem o Brasil a buscar as melhores soluções com menor custo, mais eficiência e menor impacto ambiental. Em resumo, o plano está orientado para oferecer conforto e segurança para os usuários e facilidade de gestão para os administradores do Proantar.

Dentre as principais diretrizes estabelecidas pelo *Plano Diretor*, uma das mais facilmente percebidas refere-se ao layout geral da EACF. Como a construção inicial e as primeiras ampliações subsequentes foram realizadas pelo sistema de contêineres, isso ocasionou o aparecimento de vários espaços desperdiçados e sujeitos à ação das condições externas sobre as superfícies metálicas, ou seja, o ambiente salino contribuindo para o enferrujamento dessas superfícies, ocasionando a necessidade de grandes investimentos anuais para a manutenção da integridade das instalações.

Além do investimento, é importante destacar que os processos de tratamento da corrosão ocasionam grande quantidade de resíduos, já que todos os elementos metálicos devem ser raspados e pintados. Quando esse tratamento é feito na parte



*Sala de estar/jantar (acima) e ginásio (abaixo)*

externa da estação – sujeito ao vento constante – os resíduos menores dessa raspagem são carregados pelo vento, ocasionando a poluição do ambiente.

Vários estudos foram desenvolvidos visando à redução dos investimentos – de pessoal e financeiros – ligados ao problema da corrosão. Dentre eles, destaca-se a experiência realizada para a eliminação dos vãos entre contêineres. Inicialmente, foi realizada uma pequena obra de junção, numa situação em que fosse possível observar os efeitos de tal união.

A atenção ficou voltada principalmente para verificar se o ponto de soldagem entre as duas unidades ficaria íntegro, ou seja, se não se romperia; se não haveria infiltrações e se as fundações (alicerces) agüentariam um peso adicional. Passado um ano e verificado o resultado positivo dessa análise, tanto para a situação de verão como de inverno, foram iniciados os procedimentos de planejamento e construção baseados no conceito inicial de crescer a estação “de dentro para fora”, aproveitando ao máximo os denominados “espaços intersticiais”.

Essa simples ação, baseada nos estudos tecnológicos, permitiu ampliar a área do corpo principal da estação (em valores aproximados) de 1.650 m<sup>2</sup> para 2.250 m<sup>2</sup>, com redução da superfície de tratamento de 523m para 367 m lineares. Além do maior conforto nos ambientes existentes, o novo layout amplia a condição de estocagem de alimentos e materiais em geral, otimiza a durabilidade dos veículos – que, anteriores à existência de uma garagem, ficavam expostos às intempéries –, reduz o nível de ruído interno pela reorganização das funções e melhora o conforto térmico por reduzir as trocas de calor das unidades aquecidas com o ambiente externo.

Um aspecto fundamental dessa etapa foi que a ampliação não aumentou a área impactada da estação. Foram aproveitados os espaços no entorno da EACF sem avançar em áreas que devem ser protegidas, ou por ser regiões de nidificação de aves ou por estarem ocupadas pela frágil vegetação da Antártica.





*Layout previsto para a EACF em 2008*

A preocupação com o meio ambiente e o atendimento ao que prevê o Protocolo de Madri ditaram os contornos da nova estação. Além disso, o impacto paisagístico foi considerado, e não houve mudança do visual da região com o processo de modernização.

Destaca-se que, numa edificação antártica, os detalhes assumem grande importância, principalmente por se caracterizar como um ambiente confinado, com possibilidades de longas permanências principalmente durante o inverno. O uso das cores, por exemplo, pode aumentar ou diminuir essa sensação de confinamento; as texturas dos materiais podem reduzir eventuais sensações desagradáveis, o mobiliário tem de ser resistente, assim como o piso que, em determinados setores deverá agüentar o constante pisotear das botas. Um ambiente inadequado pode prejudicar todo o trabalho de pesquisas e tornar a convivência insuportável.

O rearranjo proposto para os espaços também se preocupa com as rotas de fluxo dentro da estação, desde as saídas de emergência – lembrando que a EACF fica totalmente coberta de neve e gelo no inverno – até os espaços adequados para o trânsito cotidiano de pessoas.

Ferraz funciona como uma pequena cidade, onde é necessário preocupar-se com todas as questões que tornam possível o desenvolvimento civilizado e em segurança para a vida humana. Assim, do abastecimento e tratamento da água de consumo, passando pela questão energética, de transporte, comunicações até o destino final do lixo e do esgoto, tudo tem de ser planejado e executado baseado no conhecimento tecnológico que se tenha sobre o assunto. Paralelamente, também a pesquisa científica pressupõe a necessidade de estudos tecnológicos de apoio, principalmente em função da adoção de equipamentos cada vez mais sofisticados e com maior grau de precisão, como os rotineiramente utilizados pelos pesquisadores brasileiro no âmbito do Proantar.

A locomoção na Antártica é um dos maiores desafios, desde o navio – que deve estar preparado para enfrentar as baixas temperaturas e possíveis más condições de mar – até os pequenos veículos de apoio em terra, que guardam pouca relação com os veículos automotores utilizados nos meios urbanos tradicionais.

O Brasil também tem se destacado na área de comunicações, principalmente depois que instalou, no verão 2005/2006, um eficiente sistema de telefonia que permite chamadas diretas entre a Estação Ferraz e o Rio de Janeiro (tarifa local), e também com os demais estados, com tarifa interurbana a partir do Rio de Janeiro. A internet foi incrementada por meio da implementação de um sistema de alta velocidade 2GB, auxiliando tanto a atividade logística como, principalmente, a científica, na necessária troca de dados entre as equipes que permanecem em Ferraz com suas instituições de origem.

Ambos os sistemas – telefonia e internet – auxiliam também na aproximação das pessoas que ficam em Ferraz com suas famílias, trazendo mais para perto duas realidades tão diferentes.

A área de tecnologia permeia todas as atividades na Antártica; desde a obtenção de um simples copo de água – num lugar com tanto gelo – até os sofisticados equipamentos científicos. Considerando que os principais desafios tecnológicos do Brasil foram alcançados – chegar e sair (transporte), viver em segurança (edificações e acampamentos), comunicar-se (telefonia, internet) e causar o menor impacto ambiental possível –, a política adotada foi de concentrar esforços em alguns setores específicos, devido à dificuldade que seria atuar em todas as áreas carentes de aprimoramentos.

A primeira delas refere-se à continuidade dos estudos sobre corrosão. Ainda há necessidade de se estudar qual o melhor material a ser empregado nas construções antárticas, o melhor esquema de revestimento e os procedimentos de manutenção a ser adotados.

Para isso, executa-se um experimento com cupons metálicos (corpos de prova), com variados tipos de materiais, tratados e pintados de forma diferenciada. Esses cupons, expostos às intempéries, são fotografados trimestralmente, seguindo uma metodologia estabelecida pelo grupo de pesquisas e, conforme evolui a técnica, outros cupons são instalados, enquanto alguns são retirados. Além de comparadas as fotografias para determinar como a corrosão evolui, também são realizadas medições no Brasil dos cupons retirados, já que é possível estabelecer a perda do material por meio de medidas, por exemplo, do peso da peça na situação original e, posteriormente, após sofrer a agressão do processo corrosivo.

Também existe o registro fotográfico das superfícies metálicas da EACF, seguindo um roteiro previamente estabelecido, visando à geração de documentação referente ao acompanhamento dos procedimentos de obras e manutenção, de modo a permitir o controle dos processos adotados e a identificação de eventuais falhas na metodologia escolhida e/ou nos projetos específicos desenvolvidos.

Paralelamente às ações direcionadas para os estudos de resíduos, é feita coleta de material para posterior análise físico-química e microestrutural das superfícies corroídas, com o objetivo de determinar a categoria dos resíduos gerados quanto à sua composição.

Outra preocupação é a questão da acústica, já que a poluição sonora é uma das formas mais agressivas de impacto ambiental, embora não deixe resíduo. Nesse sentido, os ambientes da EACF são avaliados individualmente, de maneira a identificar os possíveis elementos que contribuem para a propagação de ruídos. As observações são feitas em situações diversas de funcionamento da estação, com ênfase para eventos e horários que intensificam a emissão de ruídos e, conseqüentemente, causam maior desconforto. Os ruídos produzidos pela estação são medidos com um aparelho denominado *medidor de nível de pressão sonora* ou decibelímetro, como uma referência à unidade de medida do som, o decibel. Um dos produtos gerados por essa medição é o *Zoneamento Acústico da EACF*, que é a planificação da média dos ruídos produzidos por cada categoria de ambiente, tais como camarotes, laboratórios, áreas de serviços, área de motores, etc.

As pesquisas adicionais complementam o cenário acústico previamente identificado por meio de medições específicas de equipamentos e veículos em funcionamento, bem como em áreas ruidosas previamente selecionadas. São medidos, também, pontos afastados do corpo principal da EACF, por meio de uma malha projetada de acordo com as prováveis barreiras acústicas (topográficas) visando a estabelecer e manter atualizado um mapa aproximado de dispersão sonora.

Mais um aspecto preocupante do Proantar refere-se aos resíduos gerados pela ocupação humana. Nessa pesquisa é utilizado o levantamento quantitativo dos materiais que não estão incluídos no monitoramento periódico estabelecido por normas específicas e encaminhados pelo Grupo Base (composto de 10 militares responsáveis pela manutenção e operação da estação), quais sejam: lodo resultante do tratamento de esgotos, resíduos gerados nas obras de manutenção, partículas dos geradores na queima de combustíveis fósseis e queima de lixo orgânico, entre outros.

É feita uma avaliação dos resíduos resultantes da execução das obras de manutenção feitas pelo AMRJ, incluindo a seleção, classificação, coleta, armazenamento, pesagem e transporte dos diferentes tipos de materiais. São identificados os materiais passíveis de reaproveitamento ou reciclagem, bem como levantada a correta destinação dos demais resíduos.

A identificação das fontes ocorre pela observação em campo das diversas atividades desenvolvidas e, na medida do possível, mensuradas por amostragem. O acompanhamento e a observação da separação dos resíduos e sua medição visam a identificar falhas no processo das rotinas estabelecidas e eventuais possibilidades de incorporação de procedimentos adequados sob o aspecto ambiental e logístico.

São identificadas as principais dificuldades e deficiências na coleta, armazenamento, tratamento e destinação dos diversos tipos de resíduos gerados na EACE, a fim de possibilitar sugestões para implementação de procedimentos considerados adequados e mais eficientes.

Os resíduos coletados nas Operações Antárticas são monitorados desde a sua coleta, ainda na EACE, até o destino final no Brasil. Por ocasião do embarque do lixo no navio, são observadas as condições de transporte, tanto das embalagens como da condição de armazenamento até o porto de destino. Na chegada do navio ao Brasil, as condições de desembarque também devem ser monitoradas e os materiais passíveis de reciclagem, encaminhados para instituições interessadas, enquanto os demais resíduos vão para as unidades de tratamento no Rio de Janeiro.

No campo da energia, estão sendo desenvolvidos estudos visando à implementação do uso de combustível alternativo, como o biodiesel, por exemplo, para os geradores elétricos da EACE, atualmente movidos a diesel. A principal dificuldade atual é a escolha de um catalisador correto, que impeça o congelamento do produto.

Com menos intensidade, estuda-se o uso de células fotovoltaicas para aproveitamento da energia solar nos casos de abastecimento de energia para os módulos ou equipamentos isolados, como é o caso das estações automáticas de meteorologia e refúgios e não se descarta a troca de informações com outros países que estão optando por experiências com geradores eólicos, diante da abundância da matéria-prima: o vento.

No caso particular do tratamento de esgoto na EACE, o problema se torna complexo devido à variedade de águas a ser tratadas, não só oriundas de sanitários, como também de pias, chuveiros, cozinha e laboratórios de química e biologia. Embora o sistema instalado seja eficiente, o Brasil não tem poupado



esforços na busca de soluções cada vez mais eficientes, esperando alcançar a excelência de, um dia, poder orgulhar-se de não lançar nenhum poluente na Baía do Almirantado que possa vir a afetar o meio ambiente.

As ações tecnológicas no ambiente antártico devem ser vistas, desenvolvidas e avaliadas não somente sob o aspecto da eficiência, mas também sob o enfoque ambiental, entendendo-se que tal assunto não se restringe à busca de não poluição e não contaminação; passa também pela aplicação de procedimentos que evitem a perturbação da vida animal terrestre e marítima, que evitem a destruição da frágil flora e a não busca de ações de acordo com a capacidade de suporte do ambiente. Valores intrínsecos, como o impacto na paisagem, também são considerados, seja nos projetos de novas edificações, seja relacionados às atividades de uso e manutenção no espaço exterior.

Dessa área surgem preocupações com o projeto arquitetônico da EACF, dos módulos isolados e dos refúgios, de modo a não se criar impactos significativos na paisagem. Também os caminhos mais usados devem ser estabelecidos como trilhas, devidamente demarcadas e com orientações práticas sobre seu uso, tanto pelas vertentes logística, científica como turística presentes na região. Em complemento, instruções claras e normas devem ser criadas tentando-se abarcar todas as possibilidades de deslocamento na área enfocada.



Trilha nas proximidades da EACF

Pode-se afirmar que todos os demais setores, o logístico e o científico, só conseguirão ter suas atividades bem desenvolvidas, nos termos do Tratado da Antártica e do Protocolo de Madri, se houver sucesso nas soluções apontadas pela tecnologia, que por motivos óbvios, deve estar sempre sendo atualizada.

A perfeita integração e a troca constante de informações, associadas à observação *in loco*, são fundamentais para a escolha dos rumos a seguir nessa epopéia brasileira na Antártica, sem esquecer da devida atenção ao que ocorre em termos de inovação tecnológica no mundo e, principalmente, nas soluções adotadas por outros países em suas estações, bases e acampamentos.

É oportuno ressaltar que não se pode aguardar que os problemas apareçam para que se iniciem os estudos para solucioná-los. Por isso, trata-se de um trabalho cujo fim não está delineado no horizonte, mas que gera um desafio que tem de ser vencido por etapas, com persistência, dedicação e paixão, elementos indispensáveis, mas, que existem de sobra nos brasileiros que fazem o Programa Antártico ser realidade e orgulho para o Brasil.

# REFERÊNCIAS





# REFERÊNCIAS

ALVAREZ, Cristina Engel de. **Arquitetura na Antártica: ênfase nas edificações brasileiras em madeira**. 1995. Tese. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAUUSP), São Paulo, 1995.

ALVAREZ, Cristina Engel de, YOSHIMOTO, Mitsuo. Avaliação de impacto acústico na Estação Antártica Comandante Ferraz: resultados preliminares. In XV RAPAL - Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos, 2004, Quito, Equador. **Documento de Información**. Quito, 2004.

ALVAREZ, Cristina Engel de, SOARES, Glyvani Rubim, CASAGRANDE, Braz, CRUZ, Daniel Oliveira. Conceitos e critérios adotados para o Plano Diretor da Estação Antártica Comandante Ferraz In: Reunión Anual de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos, 2005, Lima. **Documento de Información**. Lima: Inanpe, 2005.

AQUINO, F. E. **Sedimentação moderna associada à geleira de maré Lange**. 1999, 106 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

ANGELATS, J. G., ALVAREZ, C. E. de, SANTOS, S. D. O.; CASTRO, M. A. F. (2005) Resultados preliminares dos ensaios de corrosão (acelerado e não acelerado) visando a aplicabilidade em estruturas metálicas na Antártica. In: XVI RAPAL - Reunión de Administradores de Programas Antárticos Latinoamericanos, 2005, Lima, Peru. **Documento de Información**. Lima: Inanpe, 2005.

AQUINO, F. E.; SETZER, A. O clima na Amazônia Azul. In: SIMÕES, Carlos E.; CHAVES, Paulo de Tarso (ed.) **Geografia: ensino fundamental e médio: O mar no espaço geográfico brasileiro**. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria da Educação Básica, 2005, p. 226-230. (Coleção Explorando o Ensino, v. 8).

AQUINO, F. E.; SETZER, A.; VIANA, D. R.; ROMÃO, M. **O quadro climático no Rio Grande do Sul em 2004 e 2005 e sua possível relação com a Antártica**. In: A Pesquisa Sul-Rio-Grandense na Antártica, 2006. Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 23 de maio de 2006. Disponível em <<http://www.ufrgs.br/antartica/>>. Acesso em 14 de agosto de 2006.

BROHAN, P. et al. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *J. Geophysical Research* 111, 2006.

BREMER, U. F. **Morfologia e bacias de drenagem da cobertura de gelo da Ilha Rei George, Antártica**. 1998, 119 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

BRYDEN, H. L. (1983). **The Southern Ocean**. Springer, New York, p. 265-277.

CAPOZOLI, Ulisses. **Antártica, a última terra**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1991.

CHILD, Jack. **Antarctica and South American Geopolitics**. New York: Greenwood Press, 1988.

CRITCHFIELD, H. J. **General Climatology**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1966. 464 p.

DOMACK, E. W.; ISHMAN, S. Oceanographic and physiographic controls on modern sedimentation within antarctic fjords. **Geological Society of American Bulletin**, v.105, p. 1175-1189, 1993.

FERROM, F. A.; SIMÕES, J.C.; AQUINO, F. E.; SETZER, A. Air temperature time series for King George Island, Antarctica. In: **Pesquisa Brasileira Antártica**. Academia Brasileira de Ciências, v. 4: p. 155-169, 2004.

FOLDVIK, A.; GAMMELSROD, T. e TORRENSEN, T. (1985) Circulation and water masses on the southern Weddell Sea shelf. In: Jacobs, S.S. e WEISS, R.F. (Ed.). **Oceanology of the Antarctic Continental Shelf, Antarctic Research Series**, 43, Washington DC: AGU, 5-20.

FOSTER, T.D. e CARMACK, E. C. (1976). Frontal zone mixing and Antarctic Bottom Water formation in the southern Weddell Sea. **Deep Sea Research**, 23, 301-317.

GLOERSEN, P.; CAMPBELL, W. J.; [Cavalieri, D.J.; Comiso, C.; Parkinson, C.L.; Zwally, H.J. (colaboradores)]. (Eds.). **Arctic and antarctic sea ice: satellite passive-microwave observations and analysis**. Washington D.C., NASA. (NASA Special Publication, 511), 1992, 290 p.

GRIFFITH, T. W.; ANDERSON, J. B. Climatic Control of Sedimentation in bays and fjords of the northern Antarctic Peninsula. **Marine Geology**, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, v.85, p. 181-204, 1989.

HARTMANN, D. L. **Global Physical Climatology**. San Diego, California. Academic Press, 1994, 411 p.

JACKA, T. H.; BUDD, W. F. Detection of temperature and sea-ice-extent changes in the Antarctic and Southern Ocean, 1949-96. **Annals of Glaciology**, 27: 553-559. 1998.

KELLY, P. M.; JONES, P. D. Spatial patterns of variability in the global surface air temperature data set. **Journal of Geophysical Research**, 104: 24.237-24.256, 1999.

KING, J. C.; TURNER, J. **Antarctic Meteorology and Climatology**. Atmospheric and Space Science Series. Cambridge University Press, 1997, 409 p.

LINACRE, E.; GEERTS, B. **Climates & Weather Explained**. New York: Routledge, 1997, 432 p.

MARSHALL, G. J. et al. Causes of exceptional atmospheric circulation changes in the Southern Hemisphere. **Geophysical Research Letters**. v. 31, L1405, doi:10.1029/1004GL019952, 2004.

MARSHALL, G. J. et al. 2006. The role of a changing summer Southern Annular Mode (SAM) in warming the Larsen ice shelf region. **Antarctic Peninsula Climate Variability: Observations, models, and plans for IPY research**. University of Colorado, Boulder, de 14 a 16 de maio de 2006. Disponível em <[http://nsidc.org/events/ipy\\_apcv/](http://nsidc.org/events/ipy_apcv/)>. Acesso em 22 de agosto de 2006.

NOAA, 2006: National Oceanic and Atmospheric Administration, Global Monitoring Division – GMD. Disponível em <<http://www.cmdl.noaa.gov/aggi/>>. Acesso em 14 de agosto de 2006.

NUNES, Marcomede Rangel. **O Brasil na Antártica, mais de vinte anos no mundo gelado**. Rio de Janeiro: Régis Aló, 2005.

OMM, 2005: World Meteorological Organization, WMO. Statement on the status of the global climate in 2005. WMO-No. 743, 15 de dezembro de 2005. Disponível em <[http://www.wmo.ch/news/news\\_dec2005.html](http://www.wmo.ch/news/news_dec2005.html)>. Acesso em 14 de agosto de 2006.

ORSI, A. H.; WHITWORTH III, T. e NOWLIN Jr., W. D. (1995). On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current. **Deep-Sea Res.**, v. 42, p 641-673.

PALO Jr, Haroldo. **Antártica, expedições brasileiras**. Rio de Janeiro: Cor/Ação Editora Ltda., 1989.

PARKINSON, C. L. **Earth From Above: using color-coded satellite images to examine the global environment.** University Science Books, Sausalito, California, 1997, 175 p.

RACK, W. et al. Satellite observations of ice acceleration and numerical studies of the flow regime at Larsen ice shelf. **Antarctic Peninsula Climate Variability: Observations, models, and plans for IPY research.** University of Colorado, Boulder, de 14 a 16 de maio de 2006. Disponível em <[http://nsidc.org/events/ipy\\_apcv/](http://nsidc.org/events/ipy_apcv/)>. Acesso em 22 de agosto de 2006.

REYNOLDS, J. The Distribution of mean annual temperatures in the Antarctic Peninsula. **British Antarctic Survey Bulletin**, v.54, p. 123-133. 1981.

RINTOUL, S. R.; HUGHES, C. W. e OLBERS, D. (2001). The Antarctic Circumpolar Current system. In: SIEDLER, G.; CHURCH, J. A. e GOULD, J. (Ed). **Ocean, circulation and climate.** Academic Press, London, 271-300.

SCAR, 2006: **Antarctica in numbers.** Scientific Committee on Antarctic Research. Disponível em <<http://www.scar.org/information/statistics/>>. Acesso em 14 de agosto de 2006.

SCHWERDTFERGER, W. **Weather and Climate of the Antarctic.** Amsterdam, Elsevier Science Publisher B.V. 1984, 261 p.

SCHWERDTFERGER, W.; AMATURO, L. R. **Wind and weather around the Antarctic Peninsula.** Department of Meteorology, University of Wisconsin, Madison. 65 p. 1979.

SIMÕES, J. C.; BREMER, U. F. Investigation of King George Island ice cover using ERS-1/SAR and SPOT imagery. **Revista SELPER**, v.11, n.1-2, p. 56-60. 1995.

SIMÕES, J. C. Glossário da língua portuguesa da neve, do gelo e termos correlatos. In: **Pesquisa Brasileira Antártica.** Academia Brasileira de Ciências, v. 4: p. 119-154, 2004.

SLOYAN, B. M. e RINTOUL, S. R. (2001). The Southern Ocean Limb of the Global Deep Overturning Circulation. **J. Phys. Oceanogr.**, v. 31, p 143-173.

SMITH Jr., W. O. (1990). **Polar Oceanography** (Ed.). Academic Press, London, 406 pp.

TCHERNIA, P. (1980). **Descriptive Regional Oceanography.** Pergamon Press, Oxford.



THOMPSON, D. W. J.; SOLOMON, S. Interpretation of Recent Southern Hemisphere Climate Change. **Science**, 296: 895-899, 2002.

TOMCZAK, M. e GODFREY, J. S. (1994). **Regional oceanography**: An Introduction. Pergamon Press, Oxford, 422 pp.

TURNER, J. et al. Antarctic climate change during the last 50 years. **International Journal of Climatology**. 25: 279-294, 2005.

VIERS, George. **Climatologia**. Barcelona, 2ª ed. Espanha: Oikos-Tau ediciones. 1981.

WHITWORTH III, T. e PETERSON, R. G. (1985). The volume transport of the Antarctic Circumpolar Current from bottom pressure measurements. **J. Phys. Oceanogr.**, v. 15, p 810-816.

#### **SITES**

[sohowww.nascom.nasa.gov/explore/](http://sohowww.nascom.nasa.gov/explore/)

[www.universidade Johns Hopkins](http://www.universidade Johns Hopkins)

[www.toms.gsfc.nasa.gov](http://www.toms.gsfc.nasa.gov)

Studying Earth's Environment From Space. [www.ccpo.odu.edu/SEES](http://www.ccpo.odu.edu/SEES)

Iowa State University , Global Change Course

[www.dge.inpe.br/ozonio](http://www.dge.inpe.br/ozonio)







Ministério da  
Ciência e Tecnologia

Ministério das  
Relações Exteriores

Ministério  
da Defesa

Ministério do  
Meio Ambiente

Ministério  
da Educação

