

CETEM

agrominerais
para o Brasil



agrominerais para o Brasil

Editores:

Francisco Rego Chaves Fernandes

Adão Benvindo da Luz

Zuleica Carmem Castilhos

CETEM
Ministério da
Ciência e Tecnologia

CT Mineral
Fundo Setorial Mineral

FINEP
FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

CPRM
Serviço Geológico do Brasil

Embrapa

RIDESA

UFPA

Editores:
Francisco Rego Chaves Fernandes
Adão Benvindo da Luz
Zuleica Carmem Castilhos

PANORAMA DOS AGROMINERAIS NO BRASIL: ATUALIDADE E PERSPECTIVAS

YARA KULAIF¹

FRANCISCO REGO CHAVES FERNANDES²

Introdução

O objetivo deste capítulo é apresentar um panorama atual e perspectivas do mercado dos agrominerais no Brasil no início de 2010, inserindo-se em pesquisa realizada no âmbito do projeto “Estudo Prospectivo Relativo aos Agrominerais e Seus Usos na Produção de Biocombustíveis Líquidos com Visão de Longo Prazo (2035)”.

Sendo os agrominerais parte integrante da cadeia produtiva dos fertilizantes minerais, inicia-se com uma apresentação desta cadeia, relacionando produtos e setores econômicos de modo a proporcionar um quadro mais claro da diversidade dos componentes dessa indústria e sua complexidade.

A seguir são analisadas as características gerais dessa indústria no Brasil e no mundo e faz-se uma breve revisão de seu histórico, com o fim de buscar conexões e o entendimento das questões atuais.

Finalmente, enfocam-se as recentes modificações no mercado produtor dos agrominerais e as perspectivas que se vislumbram neste momento de grandes desafios, seja do lado da oferta, com as aquisições de empresas no Brasil e exterior, seja do da demanda, com a pujança apresentada pelo país na produção e exportação de grãos e de outros produtos agrícolas como os biocombustíveis.

Cadeia produtiva do NPK

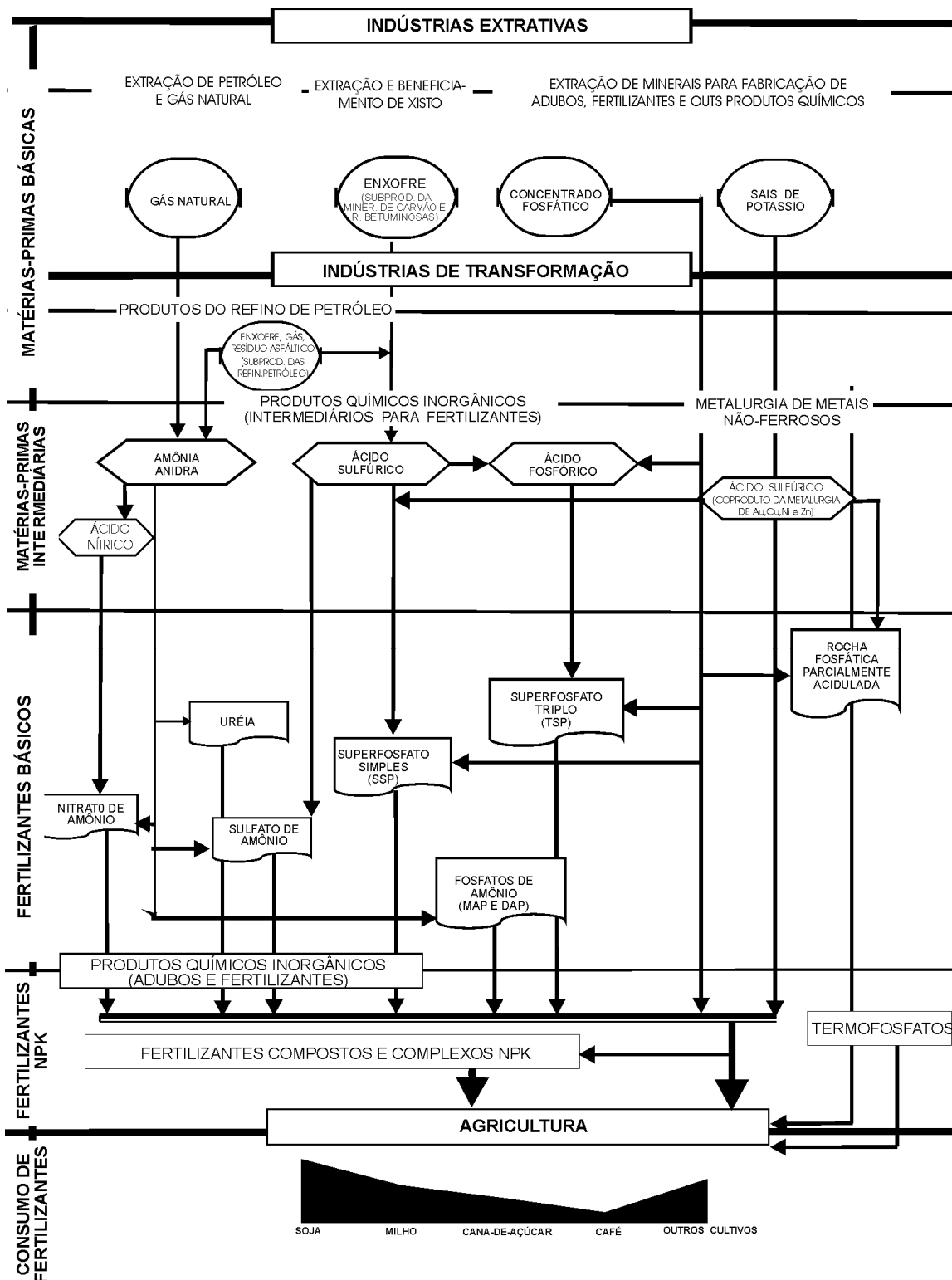
Os chamados agrominerais são aqueles produtos da indústria extrativa mineral que fornecem os elementos químicos para a indústria de fertilizantes ou para utilização direta pela agricultura. Compreendem as *commodities* minerais de enxofre, fosfato, potássio e o calcário dolomítico utilizado para corretivo da acidez dos solos. Nesse trabalho enfocaremos somente os três primeiros e mais o ramo relacionado aos produtos nitrogenados que são abastecidos pela indústria de gás natural e petróleo.

A indústria produtora de fertilizantes minerais solúveis envolve um grande número de etapas e produtos até a elaboração dos fertilizantes em sua forma final, ou seja, aquela em que é consumida pelos produtores agrícolas.

A Figura 1 apresenta a cadeia produtiva dos fertilizantes no Brasil. Essa cadeia se constitui de cinco elos, iniciando-se com o das matérias-primas básicas, passando pelas matérias-primas intermediárias, pelos fertilizantes básicos, fertilizantes NPK e, finalmente, o elo de seu consumo na agricultura.

¹ D.Sc. Universidade de São Paulo (USP). Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM/MME). E-mail: yara.kulaif@dnpm.gov.br

² D.Sc. Universidade de São Paulo (USP). Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT). E-mail: ffernandes@cetem.gov.br



PANORAMA DOS AGROMINERAIS NO BRASIL: ATUALIDADE E PERSPECTIVAS

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 1 – Cadeia produtiva da indústria de fertilizantes no Brasil.



Os três primeiros elos compõem a chamada indústria de base dos fertilizantes.

O primeiro encontra-se no âmbito das Indústrias Extrativas, mais especificamente a de Extração de Minerais Não-Metálicos e de Extração de Petróleo e Gás. Aquela fornece as matérias-primas básicas, o concentrado de rocha fosfática, os sais de potássio e uma pequena parte do enxofre, o obtido como subproduto da mineração de xisto betuminoso. A segunda produz o gás natural que sustenta o ramo dos fertilizantes nitrogenados. Neste primeiro elo, o das matérias-primas básicas, aparece ainda um segmento da Indústria de Transformação, que é o de Produtos do Refino de Petróleo, que fornece, como substitutos do gás natural, subprodutos do processo de refino que também alimentam plantas de obtenção da amônia anidra. As refinarias de petróleo, adaptadas para extração dos gases sulfurosos dos combustíveis, principalmente do diesel, produzem também enxofre elementar, por exigências de especificações técnicas da legislação ambiental.

O elo seguinte da cadeia, o das matérias-primas intermediárias, já todo inserido nas Indústrias de Transformação, é formado pelos segmentos dos Produtos Químicos Inorgânicos e o da Metalurgia de Metais Não-Ferrosos e é responsável pelo fornecimento dos produtos ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido nítrico e amônia anidra, com uma parte do ácido sulfúrico sendo coproduto da metalurgia de cobre, níquel e zinco, além da mineração de ouro.

O próximo elo, o dos fertilizantes básicos, tem como produtos o superfosfato simples (SSP), o superfosfato triplo (TSP), os fosfatos de amônio (MAP e DAP), o nitrato de amônio, o sulfato de amônio, a ureia, o cloreto de potássio, os termofosfatos e a rocha fosfática parcialmente acidulada. Estes produtos em sua maior parte são consumidos pela indústria de misturas do próximo elo, porém tem também um consumo realizado pelo elo da Agricultura.

Os fertilizantes compostos e complexos NPK são os produtos do quarto elo e inserem-se no segmento produtor de Adubos e Fertilizantes, também subordinado à Indústria de Produtos Químicos Inorgânicos.

O elo final, o de consumo, localiza-se no grande setor da Agricultura. Ele consome toda a produção do elo anterior, o dos fertilizantes NPK e, ainda, uma parte menor do elo dos fertilizantes básicos, que podem ser misturados na propriedade agrícola ou aplicados separadamente. O consumo de fertilizantes neste setor divide-se, conforme apresentado na Figura 1, em 35% para soja, 21% milho, 14% cana-de-açúcar, 6% café e 24% para outras culturas.

Características gerais da indústria de fertilizantes

Os traços característicos da organização dessa indústria apresentam uma relação direta com as dinâmicas organizacionais de cada segmento produtivo.

Uma primeira característica a ser apontada é que todos os elos são compostos por produtos considerados *commodities* com valor internacional, propiciando a existência de importantes transações de comércio exterior.

Uma segunda questão se dá em função de que, dos fatores de produção relacionados à cadeia como um todo – tecnologia, custo de investimento e matérias-primas – o mais restritivo é o terceiro, apesar de os outros serem importantes, como a seguir se detalha.

Com relação à tecnologia, esta é bastante difundida nos vários segmentos, estando as inovações mais relacionadas à diminuição de emissões de gases e resíduos e a otimizações gerenciais de várias ordens.

Na variável tecnológica, a existência de economias de escala é típica das indústrias de *commodities* minerais e químicas, resultando em investimentos iniciais de grande porte e longos períodos de maturação, configurando-se esta uma importante barreira à entrada de novos competidores.

Porém, as maiores barreiras à entrada localizam-se na produção das matérias-primas básicas minerais. Todas elas, gás natural, enxofre, rochas fosfáticas e potássicas, não são abundantes e têm uma distribui-



ção espacial primária (geológica) bastante limitada³. É característica específica da indústria extrativa mineral, que a oferta de seus produtos dependa da existência do recurso geológico, que em alguns casos pode ser muito raro. Paralelamente, o acesso legal a esses recursos pode ser limitado uma vez que esses, por estarem no subsolo, dependem de legislação e regulações governamentais específicas. Quando essa atividade reguladora não é eficiente, entre outros problemas, pode ocorrer que, apesar dos recursos estarem no subsolo, estes se encontrem sob o domínio de poucas empresas que em mercados não-concorrenciais podem não ter interesse em desenvolvê-los, criando assim restrição na oferta ao mercado.

Por outro lado, deve-se referir que a sazonalidade do consumo, que no caso dos fertilizantes se concentra nos meses mais quentes do ano, implica em mais altos custos de estocagem e capacidade ociosa, com a consequente diminuição da rentabilidade.

Constata-se assim que uma série de fatores estruturais tende a tornar o mercado produtor dos fertilizantes concentrado e de concorrência imperfeita. A estrutura empresarial típica resultante, encontrada internacionalmente, é caracterizada por grandes investimentos na globalização das operações, pela concentração em poucos produtores, frequentemente envolvidos em fusões e aquisições, verticalização das empresas com a formação de grandes conglomerados e diversificação para outros ramos produtivos, bem como para outros insumos e produtos agrícolas.

O Brasil é o quarto consumidor mundial de fertilizantes NPK, atrás da China, Índia e EUA, cada um representando 48%, 23%, 20% e 9%, respectivamente. Quando se analisa porém o posicionamento dos países com relação a cada nutriente, ressalta o peso do Brasil no consumo de potássio. O Brasil é o terceiro de maior consumidor de K₂O, com 23% do total mundial. Não há dúvida portanto da necessidade de atenção do país para políticas de garantia de abastecimento para estes insumos.

Histórico da indústria de fertilizantes no Brasil

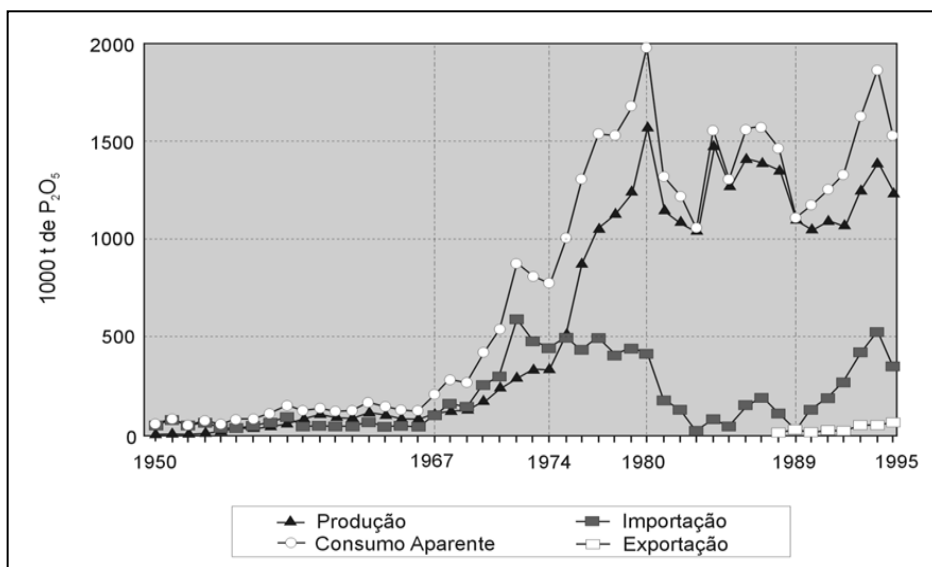
A história da indústria brasileira de fertilizantes é marcada por momentos em que mudanças institucionais e de políticas setoriais conformaram suas diferentes configurações. Em breve retrospecto, em trabalhos anteriores de Kulaif (1997; 1999a; 1999b) encontra-se que o desenvolvimento dessa indústria pode ser dividido em fases, que seriam delimitadas pelas principais mudanças estruturais no ambiente econômico nacional (Figura 2).

A primeira fase, com os primórdios dessa indústria no Brasil, desenvolveu-se até 1966. Esse período, quando as primeiras minas de rochas fosfáticas e fábricas de produtos intermediários fosfatados foram implantadas, caracterizou-se por uma indústria de fertilizantes incipiente, com uma produção nacional muito pequena, um consumo em níveis muito baixos (menos de 160 mil toneladas anuais), não havendo portanto necessidade de se recorrer a expressivas importações.

Na segunda fase, de 1967 a 1973, a demanda por fertilizantes aumentou rapidamente como efeito de uma política agrícola dos governos militares visando ao estabelecimento no Brasil de um forte setor agrícola exportador. Em função disso, importantes investimentos no aumento da capacidade produtiva das matérias-primas e produtos intermediários fertilizantes se realizam. O quadro geral do período é de uma produção interna ainda insuficiente, com a maior parte do suprimento sendo realizado por meio de importações.

Na fase seguinte, de 1974 a 1979, concretiza-se um aumento muito rápido da produção nacional a partir do lançamento do I Programa Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola - I PNFA. Este programa, que objetivou implantar uma política de substituição de importações para o setor de fertilizantes, construiu uma forte indústria nacional de matérias-primas básicas e intermediárias, toda assentada, nesse primeiro momento, em capitais estatais.

³ O enxofre é a única matéria-prima mineral que tende a se afastar desse padrão em função do crescimento do peso da chamada produção involuntária, ou seja, a obtida pela extração desse elemento dos combustíveis, por razões ambientais.



Fonte: KULAIF (1997;1999a).

Figura 2 - Produção, consumo aparente e comércio exterior de fertilizantes fosfatados no Brasil - 1950/95.

A quarta fase, que foi de 1980 a 1988, pode ser entendida como a fase de consolidação da indústria nacional de fertilizantes, a qual atingiu então a autossuficiência plena com relação à maior parte dos produtos do segmento dos fosfatados, em resposta aos maciços investimentos do período anterior. Esta autossuficiência, porém, nunca conseguiu se concretizar para os fertilizantes nitrogenados e potássicos que, parcialmente para os primeiros e quase totalmente para os segundos, foram e ainda são abastecidos pelas compras externas.

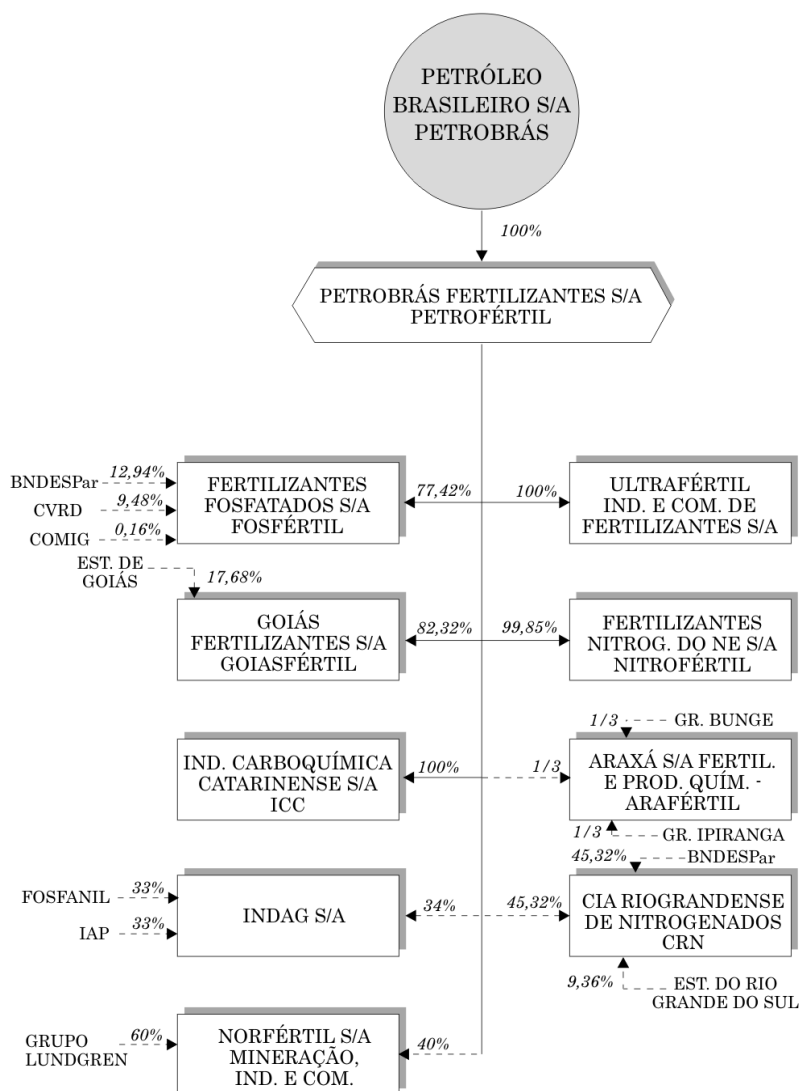
A fase de 1989 a 1995 é marcada por uma mudança nos paradigmas da política econômica governamental, privilegiando a liberalização econômica e a saída dos capitais estatais dos setores produtores de matérias-primas, que deixaram de ser vistos como estratégicos para o país. Surgem então novos cenários para a indústria de fertilizantes nacional, como os da internacionalização dos mercados e da privatização das empresas de matérias-primas.

Empresas como a Petrobras e a Fosfertil tiveram e têm papel fundamental na estruturação do setor de fertilizantes. A Petrofértil, subsidiária da Petrobras, foi criada em 1976 e incorporou sucessivamente as empresas de capital estatal do setor até que, em 1983, todas elas (Ultrafértil, Nitrofértil, Goiasfértil, Fosfertil e ICC) passaram ao seu controle direto. Com a decisão de privatizar o setor, em 1994, ela foi extinta. A Fosfertil foi criada em 1977 como uma subsidiária da Petrofértil, com o objetivo de operar a mina de Patos de Minas/MG, um projeto gerenciado desde o seu início, em 1974, pela CPRM, e que estava em operação experimental desde 1976. Em 1979, a CVRD, que estava desativando a sua área de fertilizantes, passou para a Fosfertil a Valefértil (complexo químico para produção de fertilizantes solúveis), e no ano seguinte a Valep (mineradora de rocha fosfática e mineroduto), esta última já em operação desde janeiro de 1979. Assim a Fosfertil como resultado da fusão das três empresas passou a ser um complexo industrial semiverticalizado, solidamente apoiado em reservas de rocha fosfática, sendo que, até hoje é a maior empresa de fertilizantes da América Latina (Kulaif, 1997; 1999a).

As Figuras 3 e 4 detalham a situação das empresas do Grupo Petrofértil, antes e depois do processo de privatização do setor. Foram privatizadas as empresas Fosfertil (agosto de 1992), Goiasfértil (outubro de 1992), Ultrafértil (junho de 1993), além das participações na Indag e Arafértil, vendidas em fevereiro de 1992 e abril de 1994, respectivamente. A Nitrofértil, apesar de ter sido incluída no decreto do Programa Nacional de Desestatização, foi posteriormente excluída, tendo sido, em dezembro de 1993, incorporada



à Petrobras⁴. A ICC foi liquidada em fevereiro de 1994, uma vez que a avaliação econômico-financeira realizada na empresa concluiu pela sua inviabilidade operacional.



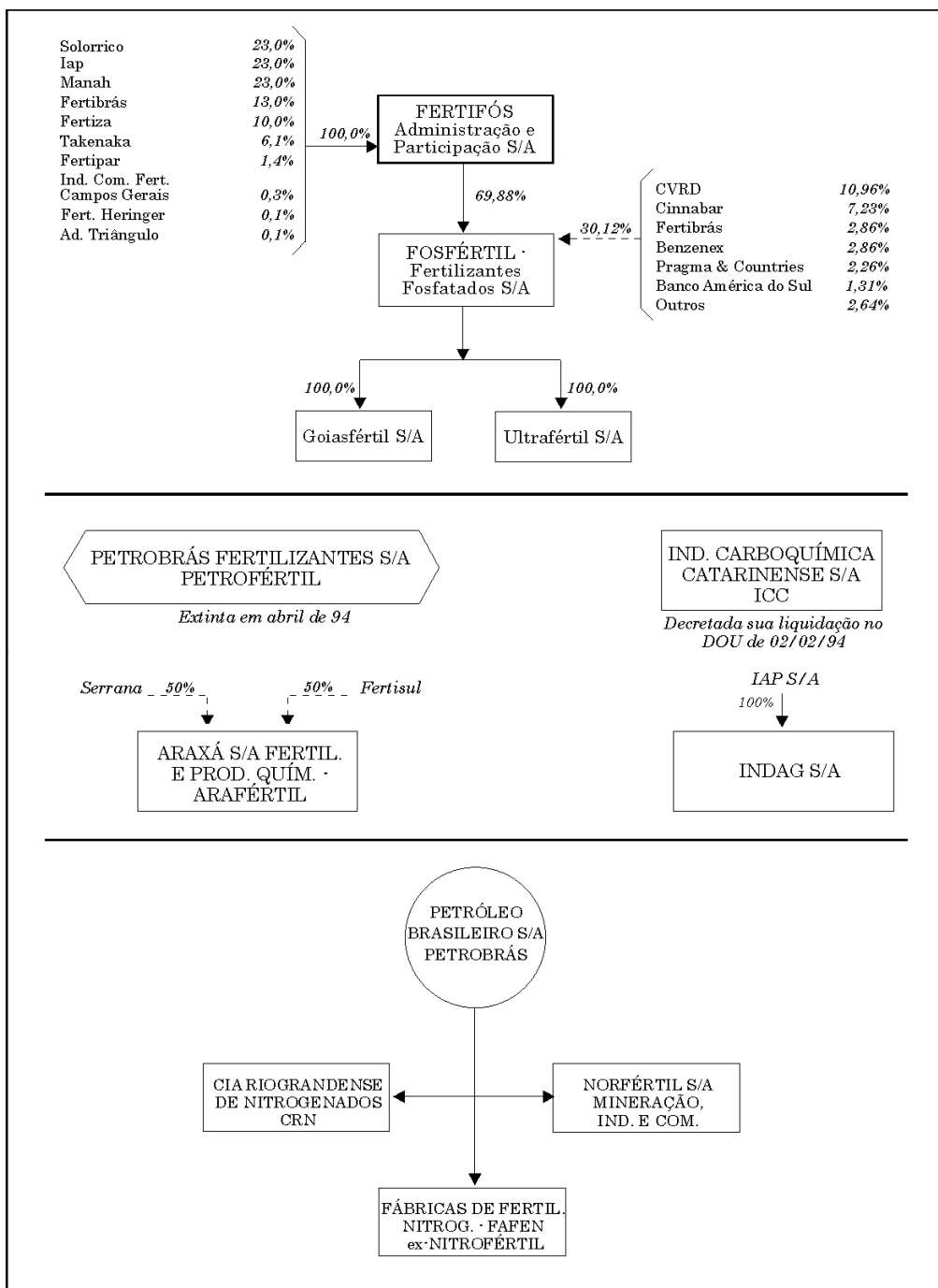
Fonte: KULAIF (1997;1999a).

Figura 3 - Composição acionária das empresas do grupo Petrofértil, antes das privatizações.

Com exceção das participações da Arafertil e Indag, que foram adquiridas pelos outros acionistas, o grande vencedor dos leilões foi o consórcio da Fertifós, esta uma empresa *holding* constituída especificamente para participar do processo de privatização, e que era integrada pelas principais empresas produtoras de fertilizantes simples e misturas dos anos 1993 e 1994. Esta composição de capitais privados foi principalmente gestada e sustentada por cláusulas do próprio processo de privatização que em um primeiro momento restringiram a participação nos leilões de grupos de capital estrangeiro⁵. Havia também restrições a mudanças de capital acionário por um período de cinco anos após a privatização.

⁴ As razões para isso estiveram ligadas ao interesse do setor petroquímico de que as suas matérias-primas continuassem sob o controle estatal e à possível falta de experiência do setor privado brasileiro na produção de fertilizantes nitrogenados (Kulaif, 1997; 1999a).

⁵ Essas cláusulas estabeleciam que o investidor estrangeiro não poderia adquirir mais do que 40% do capital votante, salvo autorização legislativa em contrário. A partir de 1993, após a venda da Goiasfertil e da Fosfertil, porém, foi permitida a participação do capital estrangeiro em até 100% do capital votante das empresas (KULAIF, 1997; 1999a).



Fonte: KULAIF (1997;1999a).

Figura 4 – Composição acionária das empresas de fertilizantes após a privatização.

A partir de 1998, entretanto, inicia-se um progressivo processo de aquisições no qual três grandes grupos internacionais, Bunge, Cargill e Norsk Hydro passam a adquirir o controle acionário das empresas que haviam se reunido no consórcio Fertifós.

A Bunge, à época ainda com a denominação de Serrana, tradicional empresa produtora de rocha fosfática e matérias-primas intermediárias no Brasil, adquire paulatinamente as empresas, Ipiranga Serrana/Fertisul, Manah, IAP, a divisão de fertilizantes da Eleikeiroz e parte do capital da Takenaka.



A Cargill adquiriu as empresas Solorrigo e Fertiza, repassando estes ativos para a Mosaic em 2004, quando esta foi constituída através da união com a IMC Global, importante produtora de rocha fosfática dos Estados Unidos. No Brasil, onde a IMC não tinha ativos, a Mosaic assumiu a estrutura da Cargill Fertilizantes, isto é, uma fábrica de fertilizantes líquidos em Monte Alto/SP, uma unidade industrial em Candeias/BA e as duas empresas recentemente adquiridas.

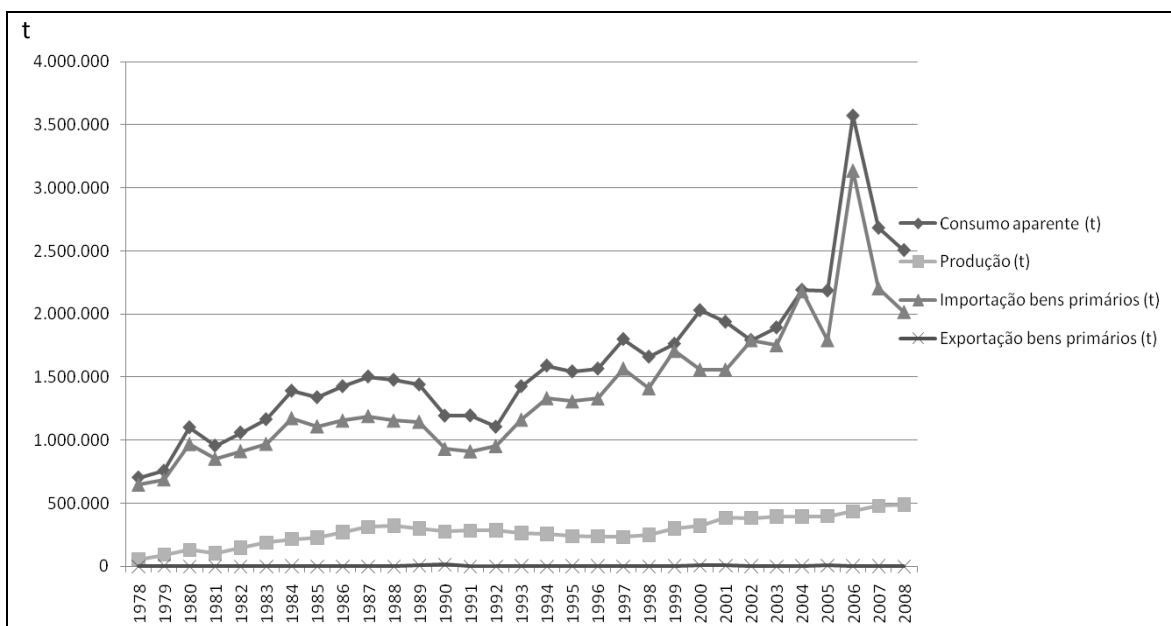
O grupo Norsk Hydro, de capital norueguês, líder mundial no fornecimento de fertilizantes minerais e hoje denominado Yara International ASA, adquiriu em 2000 a empresa Adubos Trevo que, segundo Kulaif (1999b), até 1994, era a maior produtora de fertilizantes mistos NPK. Esta empresa chegou a deter naquele ano 14% do mercado brasileiro, com unidades produtivas em todas as regiões do país. A autora ressalta, porém, que ao longo do ano de 1995, a Trevo teve sua situação financeira comprometida por uma série de fatores, ligados tanto a problemas financeiros quanto a de mercado da empresa.

Destas empresas adquiridas, somente a Trevo não estava na Fertifós. De qualquer modo, tanto a Mosaic quanto a Yara compraram ações da Fosfertil, esta última através da compra da Fertibrás.

A EVOLUÇÃO POR NUTRIENTE

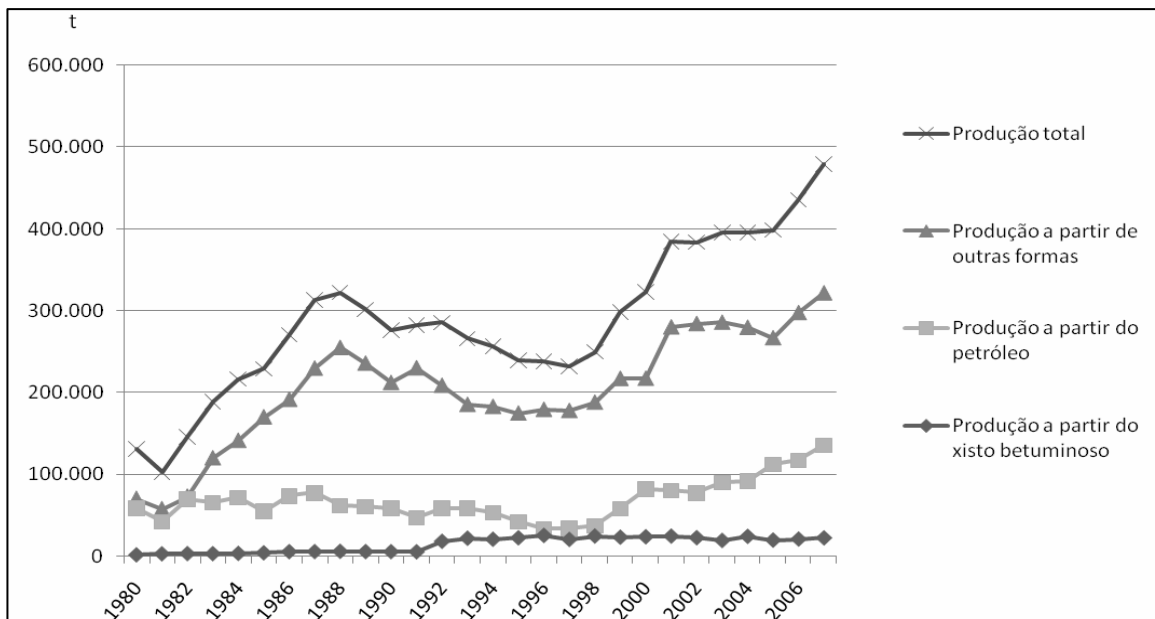
Gráficos com a evolução dos dados de consumo, produção e comércio exterior dos agrominerais e seus produtos (Figuras 5 a 9) mostram que, após as privatizações do setor:

- em todos os segmentos, enquanto a produção se manteve em níveis estáveis ou de pequeno crescimento, o consumo cresceu sustentadamente, puxando as importações para níveis bastante altos.
- o segmento dos fosfatados no Brasil tem um comportamento um pouco diferenciado, porém não se afasta dos demais para o período. Analisando-se a Figura 6 em conjunto com a Figura 2, constata-se que o concentrado de rocha fosfática e os fertilizantes fosfatados são os únicos em que a produção nacional acompanhou a demanda interna, mas que, por uma lógica econômica das empresas produtoras há duas décadas isto não tem se concretizado.



Fonte: SMB (2010); MME/DNPM (2009); MINERALdata (2009).

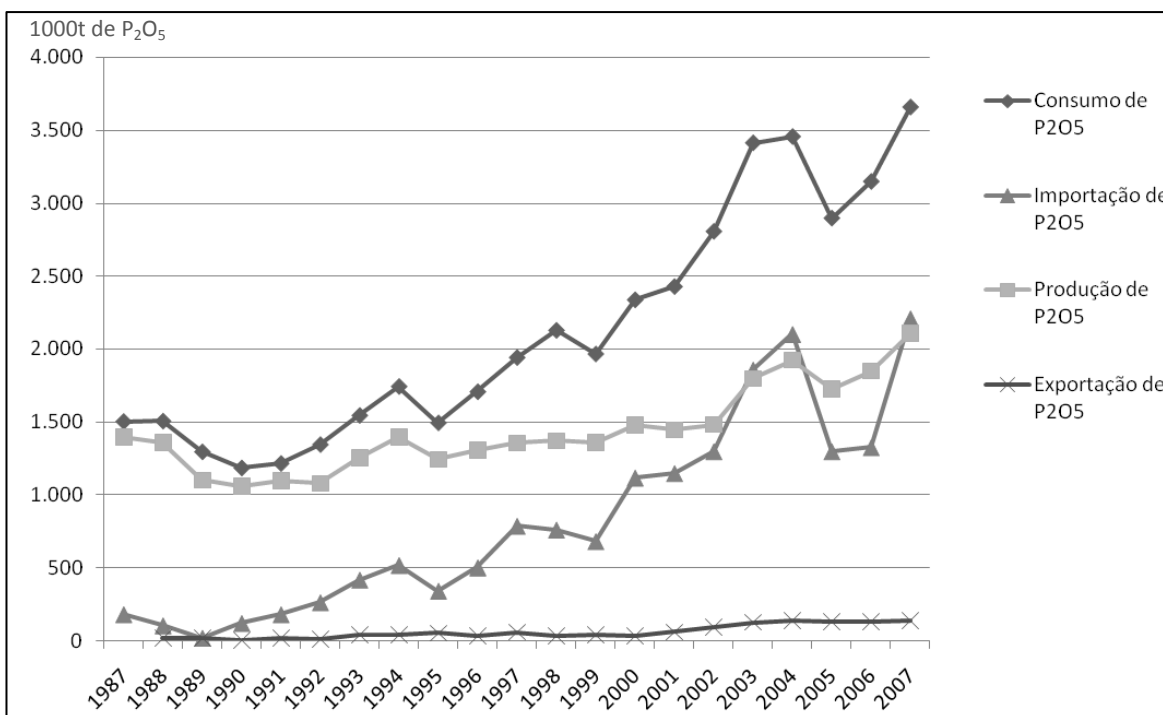
Figura 5 – Evolução do consumo, importação, produção e exportação de enxofre (t).



Nota: a produção a partir de outras formas é a obtida nas plantas industriais de Cu, Zn, Ni e Au. Figura 6 – Evolução das fontes para obtenção do enxofre no Brasil (t).

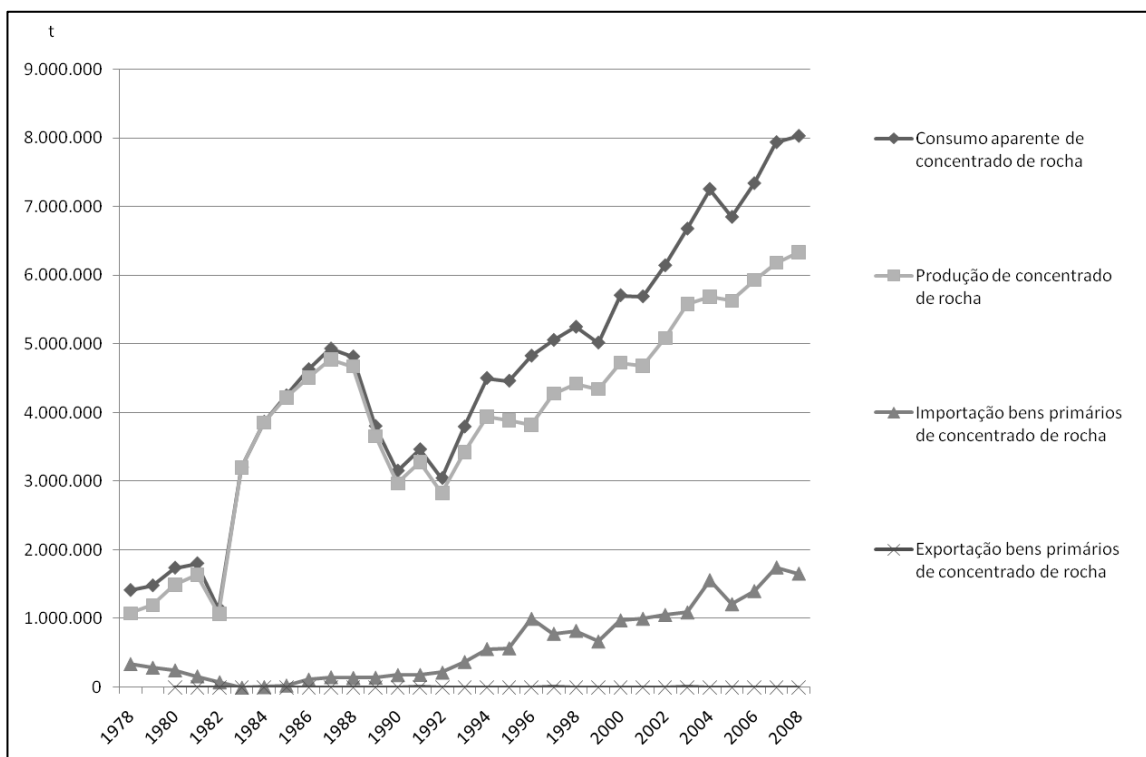
Fonte: MINERALdata (2009)/dados primários do SMB.

Figura 6 – Evolução do consumo, importação, produção e exportação do segmento de fosfatos.



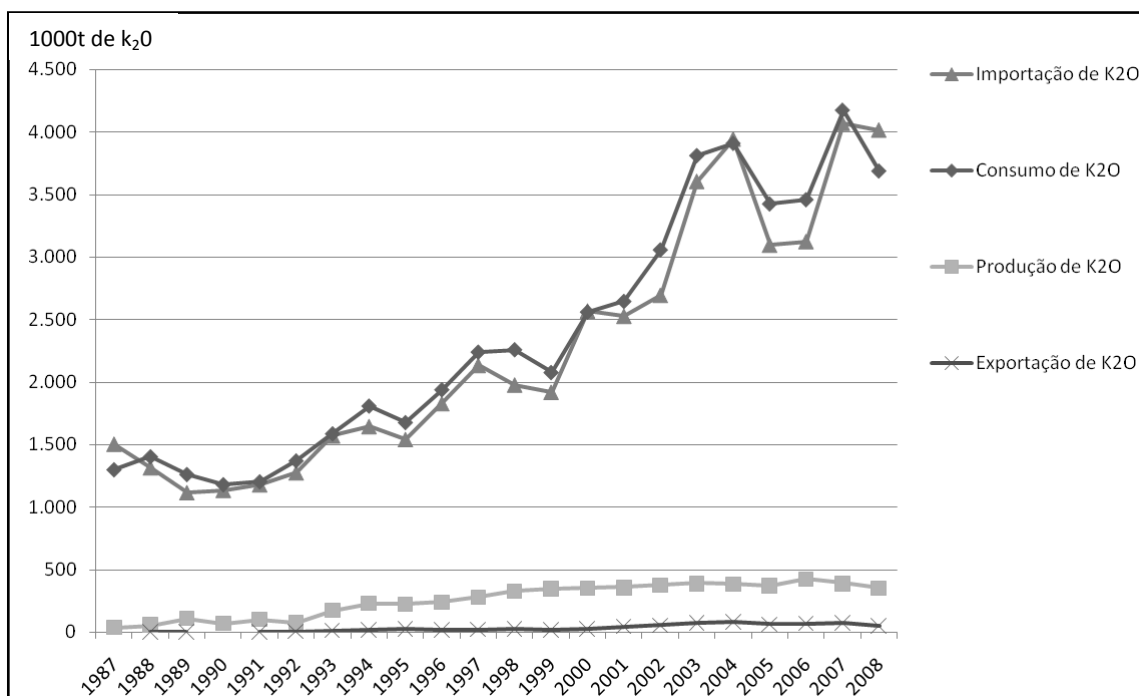
Fonte: Anuário ANDA, 1988 a 2009.

Figura 7 – Evolução do consumo, importação, produção e exportação do segmento de potássicos.



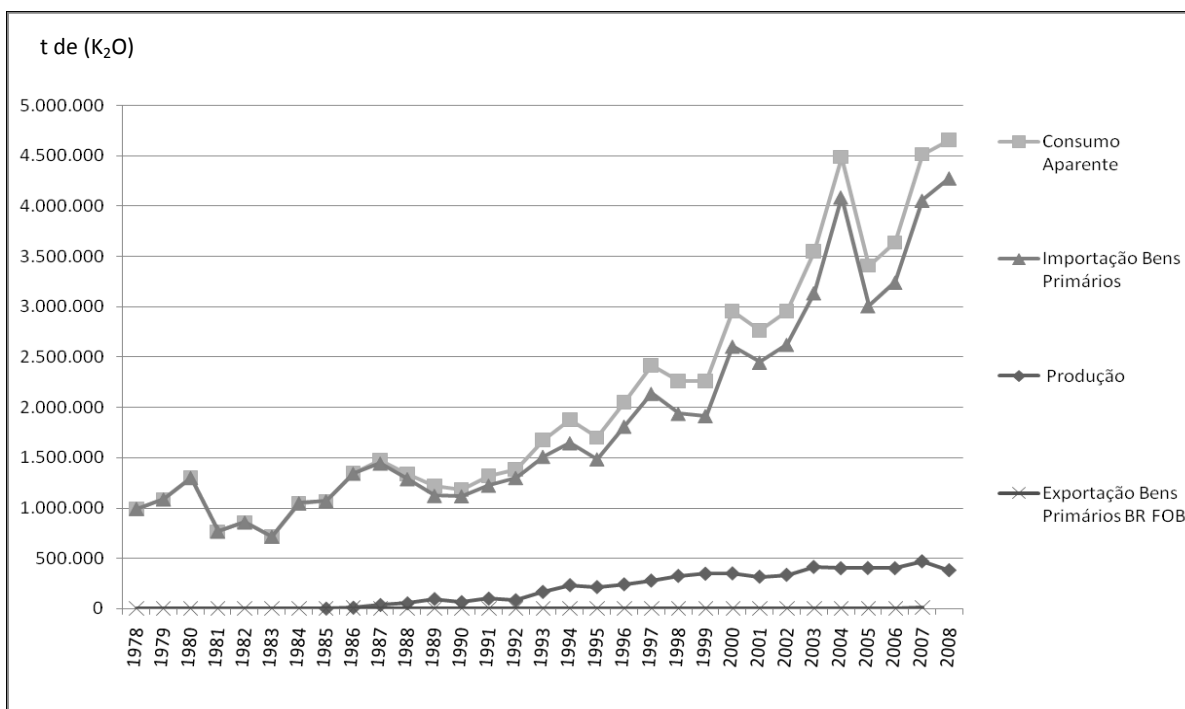
Fonte: SMB (2010); MME/DNPM (2009).

Figura 8 – Evolução do consumo, importação, produção e exportação do segmento de nitrogenados.



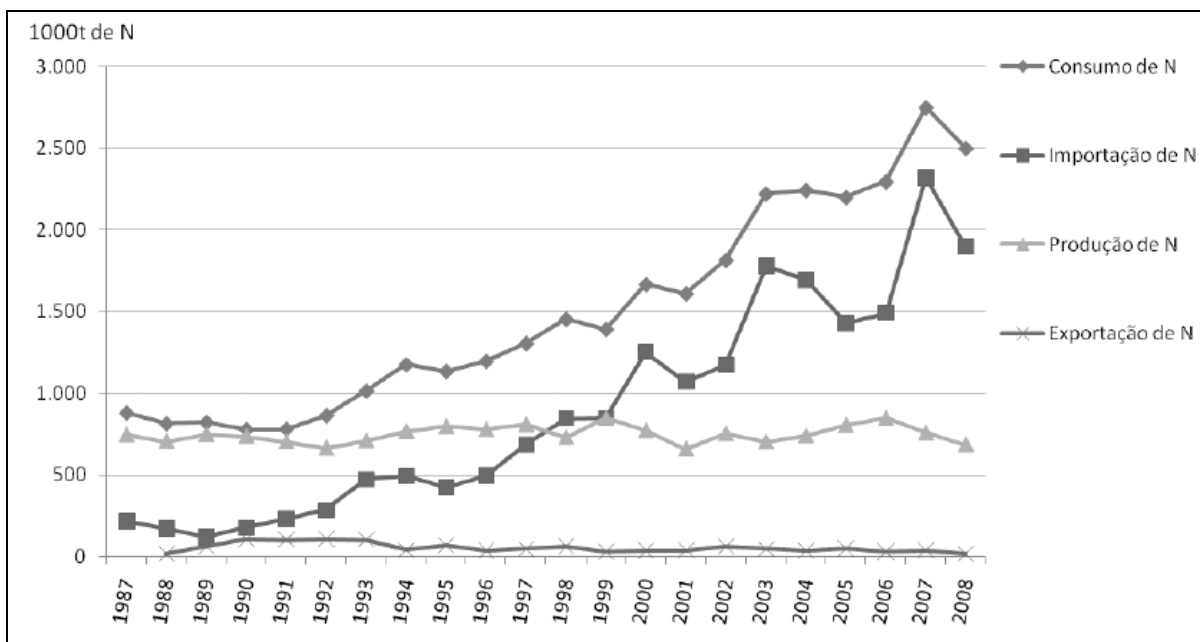
Fonte: Anuários ANDA, 1988 a 2009.

Figura 9 – Evolução do consumo, importação, produção e exportação de fertilizantes potássicos.



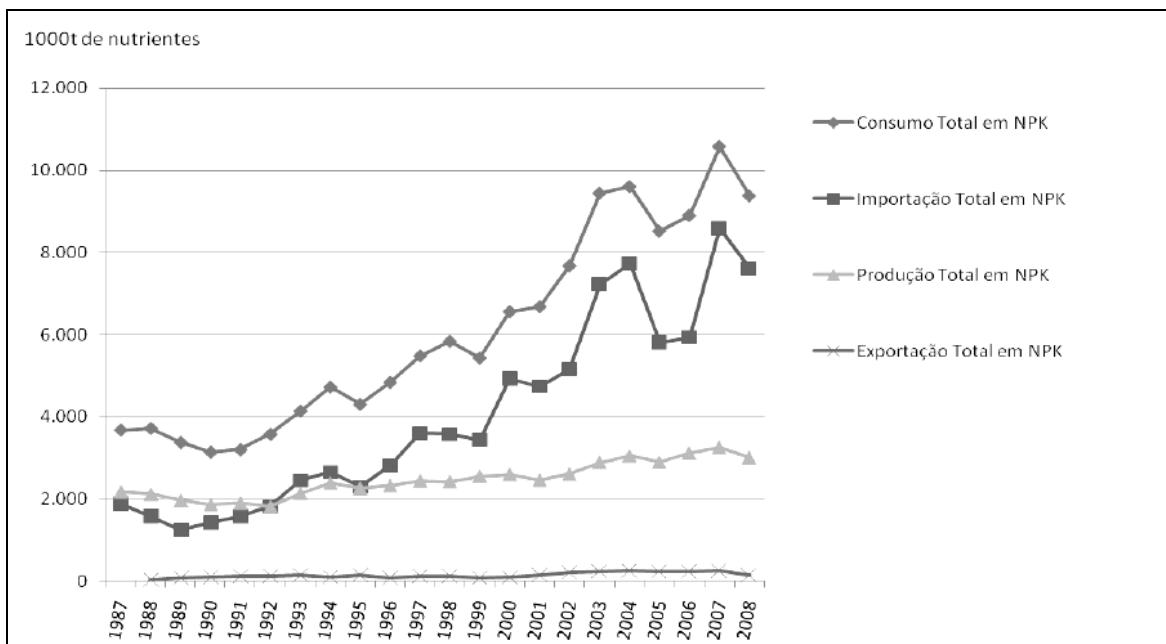
Fonte: Anuários ANDA, 1988 a 2009.

Figura 10 – Evolução do consumo, importação, produção e exportação de cloreto de potássio.



Fonte: Anuários ANDA, 1988 a 2009.

Figura 11 – Evolução do consumo, importação, produção e exportação dos fertilizantes nitrogenados.

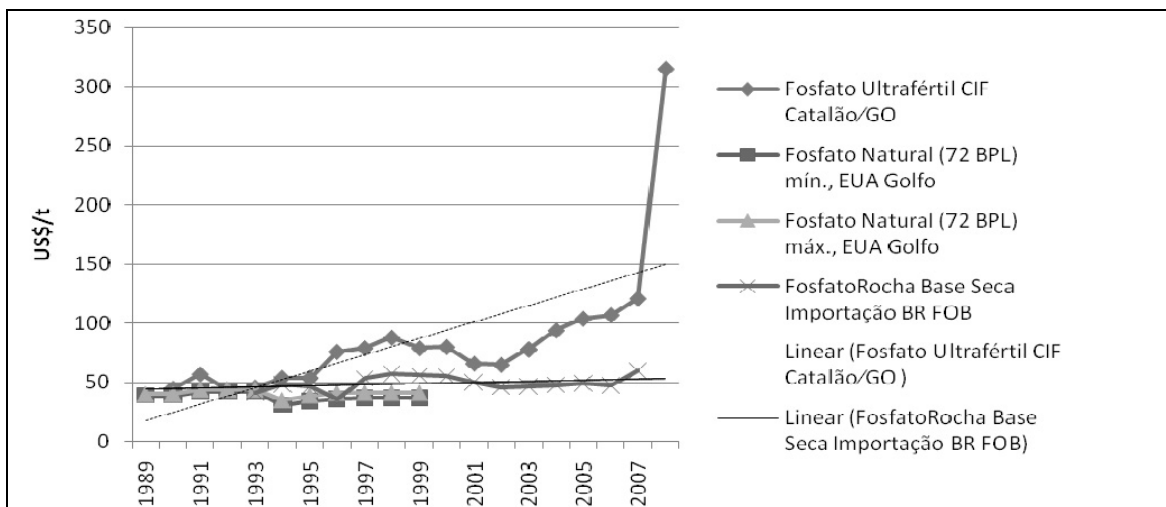


Fonte: Anuários ANDA, 1988 a 2009.

Figura 12 – Evolução do consumo, importação, produção e exportação dos fertilizantes finais NPK.

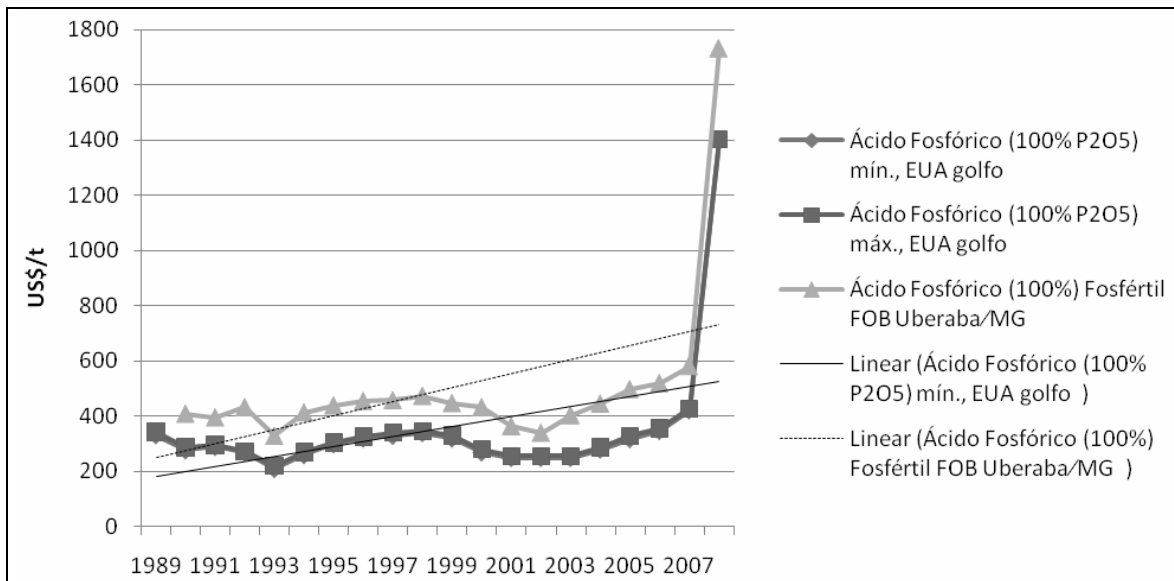
Por outro lado, o comportamento dos preços dos últimos vinte anos também pode dar indicações de como a configuração dessa indústria tem se refletido na sua eficiência econômica.

As Figuras 13 a 16 apresentam curvas de preços de produtos selecionados, contendo tanto preços internacionais quanto os praticados no mercado brasileiro. Considerando que as diferenças médias dos valores seriam devidas aos custos de internação dos produtos importados e admitindo-se que, de fato, os preços praticados no Brasil estariam referenciados pelos internacionais, caberia uma comparação para averiguar se houve uma mudança nessa correspondência antes e depois das privatizações do setor.



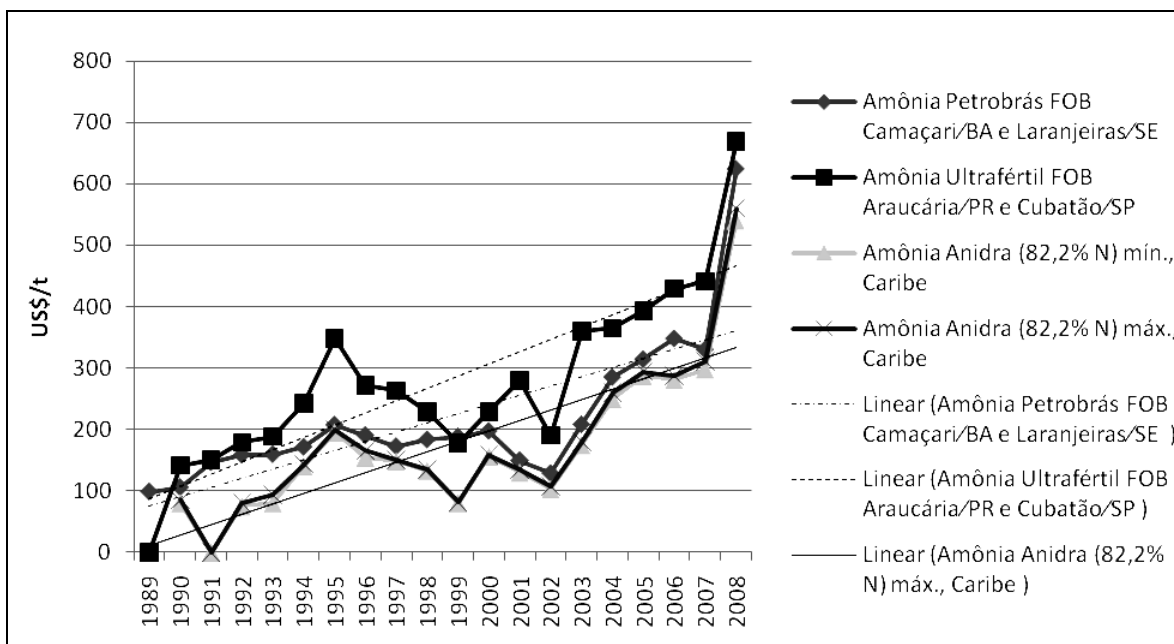
Fonte: Anuários ANDA, 1989 a 2008.

Figura 13 – Preços de concentrados de rocha fosfática – internacional e Brasil.



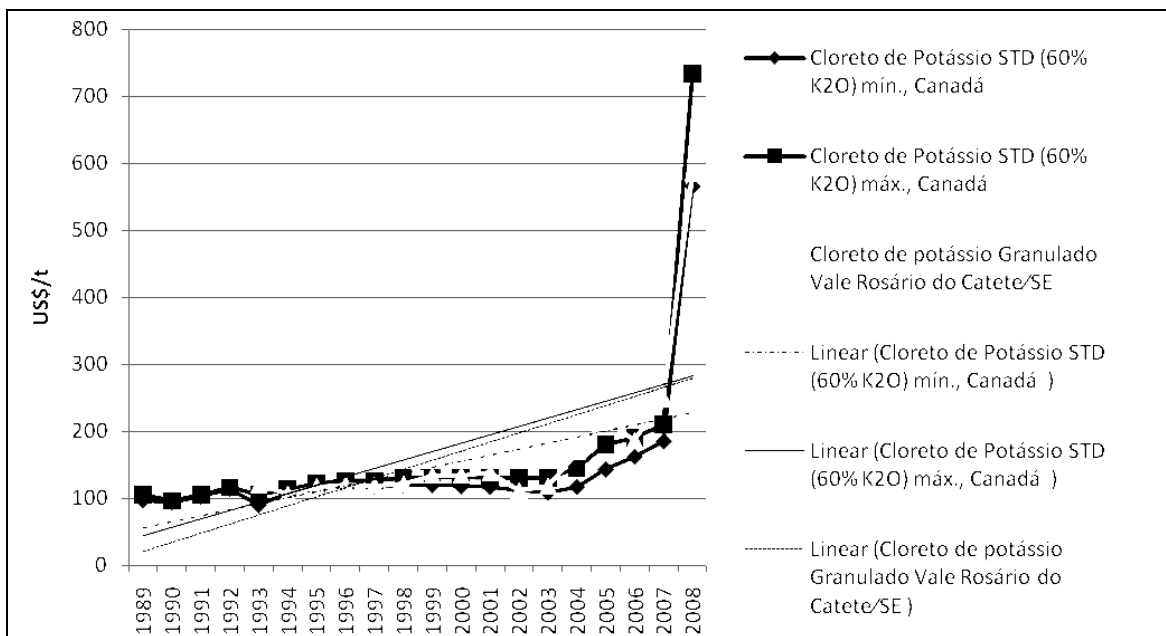
Fonte: Anuários ANDA, 1989 a 2008.

Figura 14 - Preços de concentrado ácido fosfórico (100% de P₂O₅) - internacional e Brasil.



Fonte: Anuários ANDA, 1989 a 2008.

Figura 15 - Preços de amônia Anidra - internacional e Brasil.



Fonte: Anuários ANDA, 1989 a 2008.

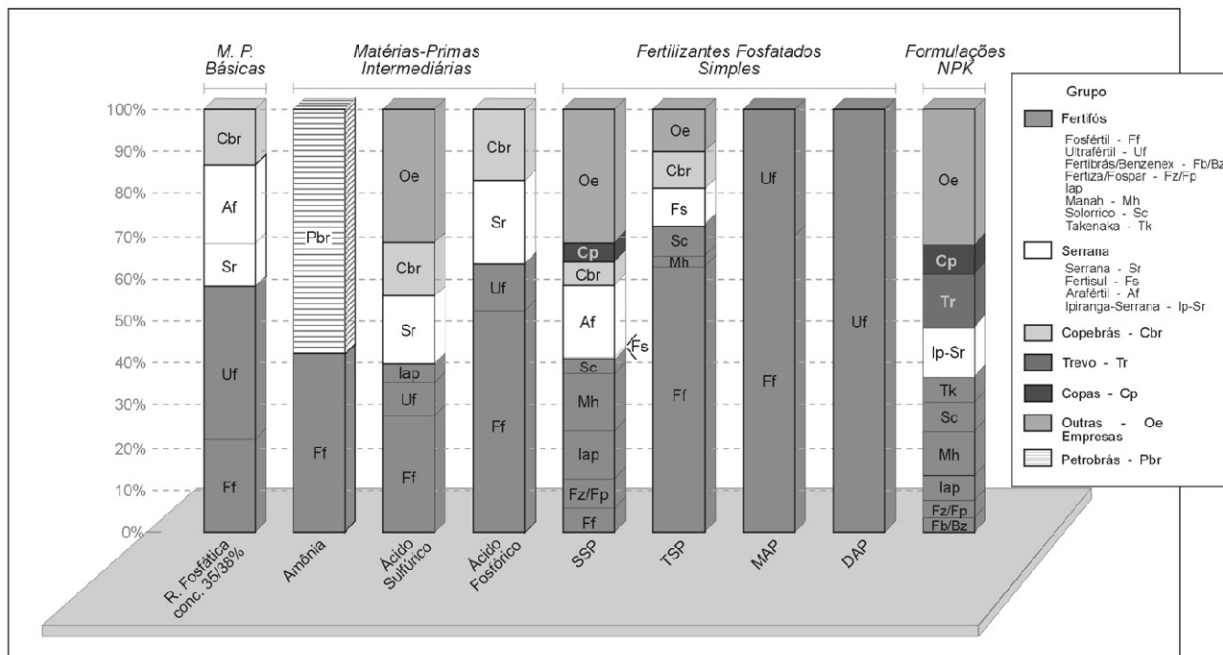
Figura 16 - Preços de cloreto de potássio - internacional e Brasil

Usando-se para esta comparação as linhas de tendência das curvas dos gráficos, constata-se que, com exceção da amônia anidra vendida pela Petrobras no mercado interno, em todas as curvas a diferença entre os valores nacionais e internacionais aumentou. Como esta diferença é devida, como dito anteriormente, aos custos de internação, cabe considerar duas hipóteses: ou estes custos aumentaram ao longo do período ou aumentaram as margens de lucro praticadas pelas empresas no mercado interno.

O aumento de margens de lucro geralmente ocorre quando existe algum poder de mercado das empresas produtoras na fixação dos preços. Este poder advém ou de uma concentração da produção nas mãos de uma ou mais empresas, o que geraria uma estrutura de oligopólio, ou de práticas de conluio entre as empresas visando a fixar preços, com a formação de cartéis. Deve-se pesquisar assim a configuração do mercado produtor.

Visão da cadeia produtiva hoje

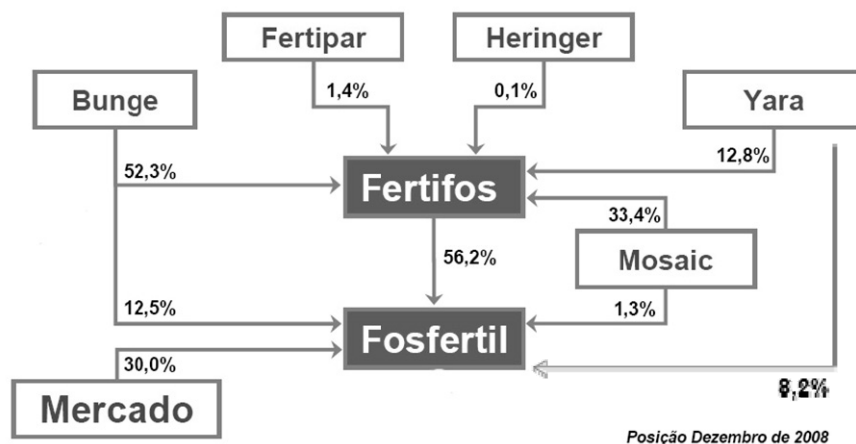
A configuração atual da oferta de fertilizantes no Brasil está fortemente calcada nas mudanças ocorridas a partir do início da década de 90 passada, quando se deu o processo de privatização das empresas de matérias-primas. A partir da privatização, com a venda das empresas estatais para o consórcio de empresas consumidoras dos produtos daquelas privatizadas, o mercado produtor de fertilizantes no Brasil passou a ter como principal player a holding Fertifós, detentora do controle acionário das grandes produtoras de matérias-primas e fertilizantes simples, a saber, Fosfertil, Ultrafertil e Goiasfertil, com suas sócias detendo aproximadamente 37% do mercado de misturas. A Figura 17 mostra como estava a divisão do mercado para os diversos produtos da cadeia em 1995. A figura mostra a mesma cor cinza escura em cada coluna/produto com as porcentagens de fatias do mercado relativas ao grupo Fertifós. Estas fatias variavam entre 37% nos fertilizantes finais até 100% em produtos como MAP e DAP. Como não havia barreiras tarifárias às importações, admitia-se, como até hoje, que o consumidor poderia optar pela compra no mercado externo, o que tornaria a situação de concentração no mercado nacional pouco relevante. O preço no mercado interno estaria então totalmente vinculado ao do mercado internacional.



Fonte: KULAIF (1997; 1999 a)/dados Anuário ANDA 1996 e AMA- BRASIL.

Figura 17 - Capacidade instalada de produção por empresa no Brasil (%), em 1995.

A situação até 2009 passou a ser Bunge detendo 52,3% da Fertifós, a Mosaic, 33,4% e a Yara, 12,8% na Fertifós e 8,2% diretamente da Fosfertil, conforme esquematizado na Figura 18 a seguir.



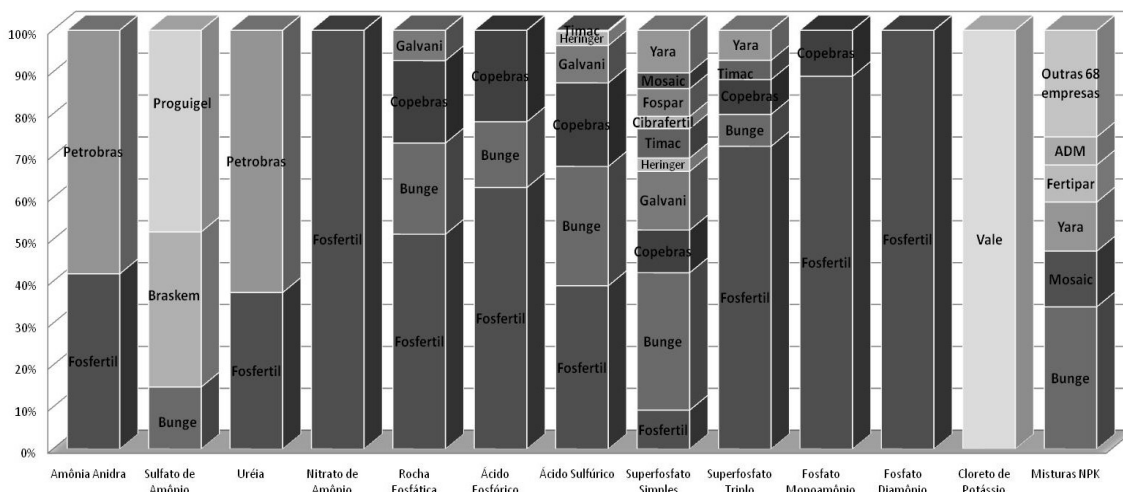
Nota: Mercado com cerca de 3.100 acionistas (fundos de investimento, pessoas físicas e jurídicas).
 Fonte: CVM/IAN Fosfertil (2008) /; CVM/ITR Yara Brasil Fertilizantes S/A (2009).

Figura 18 - Composição acionária Fosfertil e Fertifós até 2009.

A Figura 19 apresenta a distribuição da capacidade instalada usual das empresas por produto, em termos percentuais. A Figura 20 detalha a distribuição em porcentagem do mercado de misturas, calculada indiretamente, a partir de dados de importação de potássio⁶.

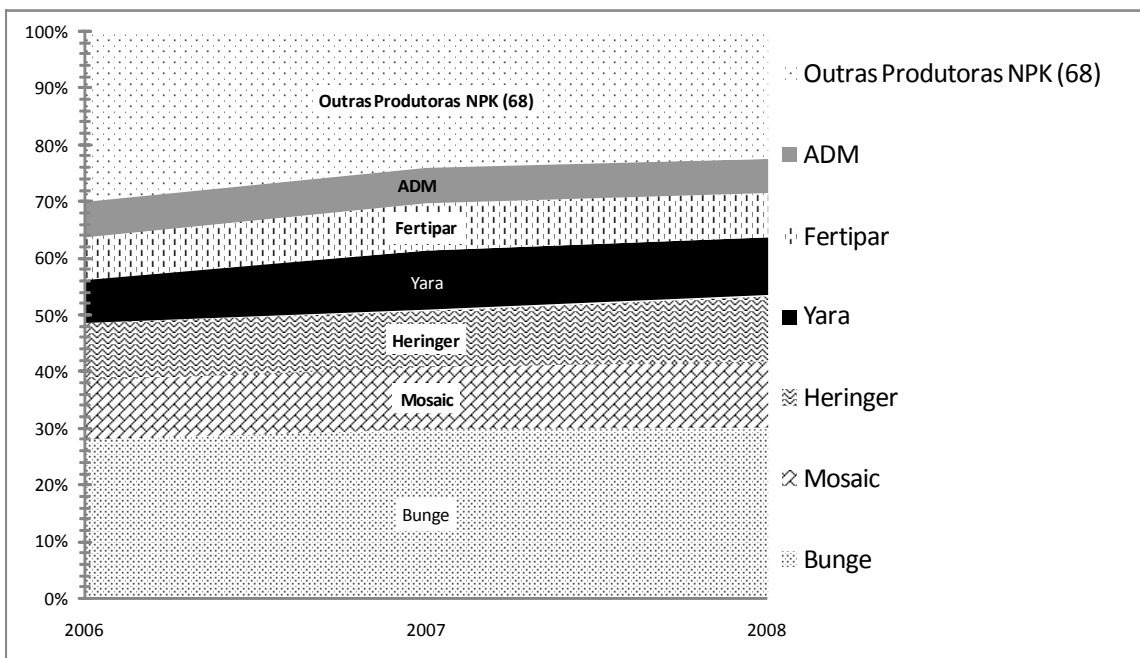
⁶ Os dados de importação de cloreto de potássio foram fornecidos pela AMA-BRASIL, em março de 2010,

Somando-se as empresas do grupo Bunge com a Fosfertil, na qual este grupo era majoritário, até 2009, tinha-se sob seu domínio cerca de 73% da rocha fosfática, 68% do ácido sulfúrico, 78% do ácido fosfórico, 100% do nitrato de amônia, 100% da produção do DAP, 89% do MAP, 80% do superfosfato triplo, 55% da produção do superfosfato simples na região central do país e, juntamente com a Petrobrás, detém 100% da produção de amônia anidra. A Vale, apesar de produzir 100% do cloreto de potássio do país, tem participação diminuta no mercado, menos de 10%.



Fonte: Anuário ANDA 2009, dados de 2008; SIACESP; AMA BRASIL.

Figura 19 - Capacidade instalada de produção por empresa no Brasil por produto (%), em 2008.



Fonte: SIACESP; AMA BRASIL.

Figura 20 - Distribuição do mercado de misturas NPK no Brasil 2009 - calculado a partir de dados de importação de potássio (2006-2008).

Dois indicadores, o índice de concentração (CR) e o índice Herfindahl-Hirschman (HHI) são utilizados por analistas para medir o grau de concentração de mercado de um determinado setor da atividade econômica, fornecendo subsídios para análise da concorrência.

O índice de Concentração (CR) mede a participação percentual acumulada (*market-share*) das empresas de um determinado setor. Usualmente utilizam-se apenas as quatro maiores empresas na produção total daquele setor econômico e o índice é denotado por CR₄. Quanto mais o resultado obtido se aproximar de 100, maior o grau de concentração do setor, e dessa forma, o mercado pode estar próximo a práticas oligopolísticas. Já o resultado próximo de 0, significa que o mercado está mais próximo da concorrência perfeita. O mercado pode ser classificado em seis tipos: “altamente concentrado”, quando o CR₄ é maior que 75%; “alta concentração”, quando varia entre 65% e 75%; “concentração moderada”, quando varia entre 50% e 65%; “baixa concentração” quando varia entre 35% e 50%; “ausência de concentração”, quando se encontra abaixo de 35% e “claramente atomístico”, quando se encontra em torno de 2%.

O índice Herfindahl-Hirschman (HHI) é calculado por meio da soma dos quadrados das participações das empresas (*market-shares*) em relação ao total do setor analisado. O HHI₄, índice calculado para as quatro maiores empresas varia de 0 a 10.000. Em um mercado de concorrência perfeita, o valor da participação de cada empresa no mercado é insignificante e o HHI tende a zero. No extremo oposto, sob regime de monopólio, com uma única empresa, sua participação é de 100% e o HHI correspondente é 10.000 (100²). Costuma-se classificar os mercados, através de faixas de valores para o HHI, considerando-se uma concentração baixa quando o valor está abaixo de 1.000, moderada quando se encontra entre 1.000 e 1.800 e alta quando é superior a 1.800 (Schmidt e Lima, 2002).

No Brasil, a Secretaria de Acompanhamento Econômico do Governo Federal detém critérios para identificar se a concentração gera o controle de mercado. Admite-se que uma concentração gera o controle de mercado suficientemente alto para viabilizar o exercício coordenado do poder de mercado sempre que: a concentração tornar a soma da participação de mercado das quatro maiores empresas (C₄) igual ou superior a 75%.

O HHI₄ das quatro principais produtoras de fertilizantes finais no Brasil é em 2008 de 1281, apontando concentração moderada do mercado de misturas.

Porém este controle é mais visível e forte porque se estende às *trading companies*, pertencentes ou sócias dos mesmos grupos fertilizantes, mas que comercializam também os produtos agrícolas, os grãos, sendo, o sexto elo da cadeia do NPK, os produtores agrícolas, clientes dos mesmos grupos controladores simultaneamente nas duas pontas da cadeia, *commodities* agrícolas e fertilizantes.

O faturamento das empresas do setor cresceu em flecha nos últimos quatro anos, passando de US\$ 3,4 bilhões em 2004 para US\$ 5,5 bilhões em 2005, US\$ 5,6 bilhões em 2006, atingindo, em 2007, US\$ 9,0 bilhões, dos quais, US\$ 4,5 bilhões referem-se a vendas de produtos fertilizantes importados. Comparando com o faturamento de toda a indústria química, que foi de US\$ 103,5 bilhões em 2008, é de 9% a participação da indústria de fertilizantes.

Quanto ao faturamento, ficam também patentes os resultados da grande concentração do setor. Segundo dados consolidados de balanços das empresas 2008 (ABIQUIM, 2009), a Bunge teve um faturamento de R\$ 2,3 bilhões e a Fosfertil de R\$ 1,5 bilhão, as duas juntas com R\$ 3,8 bilhões, representando 84% do faturamento das empresas produtoras nacionais.

Em valores monetários, as importações de matérias-primas (fosfato, potássio e enxofre) e produtos intermediários NPK atingiram, em 2008, US\$ 11,3 bilhões, quando em 2007 eram de US\$ 5,1 bilhões, ambas cifras de grande expressão (ANDA, 2009).

Recentes mudanças e perspectivas

No Brasil, tem sido noticiada recente atuação pró-ativa do governo federal, em ação coordenada pelas pastas do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e MME – Ministério de Minas e Energia, além do DNPM, junto às empresas da indústria de fertilizantes para uma retomada dos investimentos, colocando-se o BNDES com empréstimos disponíveis.

Fala-se de um marco regulatório específico para o setor, trazendo os necessários instrumentos legais para uma atuação eficaz, visando a diminuir rapidamente a dependência de importações do país, que gerou, em 2008 e 2009, um dispêndio de divisas no comércio exterior e ainda uma drenagem em reais dos rendimentos dos agricultores.

Ainda com relação aos direitos minerários, foi oficialmente anunciado que o DNPM controlará e gerenciará mais estreitamente estes títulos, principalmente quanto a concessões de lavra relacionadas com novos empreendimentos e ampliação da capacidade de produção para minas em atividade e reservas comprovadas. Há muitas minas com imensas reservas outorgadas, que se não forem exigidos novos empreendimentos para viabilizarem a sua colocação no mercado, durarão mais de 100 anos, sendo difícil explicar essas decisões à sociedade civil e aos agricultores carentes de nutrientes. Se o subsolo é distinto da propriedade privada do solo, unicamente porque existem riquezas minerais nos mesmos que devem ser dissociadas dos proprietários do solo, como então permitir a propriedade improdutiva do subsolo sem adequação dos volumes de sua extração ao porte das suas reservas?

Há anúncio de novos projetos e/ou ampliação dos já existentes:

- em fertilizantes fosfatados e sua integração vertical em plantas de ácidos sulfúrico e fosfórico e DAP, MAP e TSP entre outros, principalmente pela Bunge e Fosfertil e também por médios investimentos pela Galvani e Itafós/ MBAC Fertilizers Corporation. O recente anúncio da saída da Anglo American deste setor no Brasil, com a correspondente venda de seus importantes ativos na Copebrás, pode ajudar no futuro o Brasil no impulsionamento de novos projetos, principalmente em Goiás⁷.
- em fertilizantes potássicos, pela Vale, em dois novos projetos em Sergipe. Em outubro de 2009, notícias preliminares dão conta da possibilidade da Vale vir a liderar a exploração da mina de classe mundial de Nova Olinda do Norte, no Amazonas.
- nos fertilizantes nitrogenados há novos projetos anunciados no início de 2009, pela Petrobras, com expressivos aumentos da produção. Anúncio recente da Fosfertil de possibilidade futura de um novo projeto, que estaria sendo ainda estudado quanto ao gás natural.
- no enxofre depende principalmente das medidas ambientais que exigem da Petrobras um combustível mais limpo, a exemplo do que já é praticado nos Estados Unidos e na União Européia, além da grande expansão programada pela mesma, para os próximos cinco anos, no refino de petróleo e extração de gás natural.

É importante observar, porém, que alguns destes anúncios de novos projetos foram feitos em 2008, sem maiores confirmações dos mesmos ao longo de 2009, e que, nos fertilizantes fosfatados, as empresas instaladas no Brasil que os propõem são as mesmas que operam mundialmente e têm em execução outros projetos de implantação de unidades industriais de produtos fertilizantes, ainda inacabadas, em vários países. O caso da Bunge é emblemático, pois anunciou em 2009 que pode vir a fechar instalações já existentes e nada declara sobre os novos megaprojetos que anunciou em 2008 e que figuram na contabilidade governamental para tirar o país da dependência. Finalmente, o BNDES veio de público sinalizar efetivo suporte ao financiamento dos investimentos para a indústria de fertilizantes.

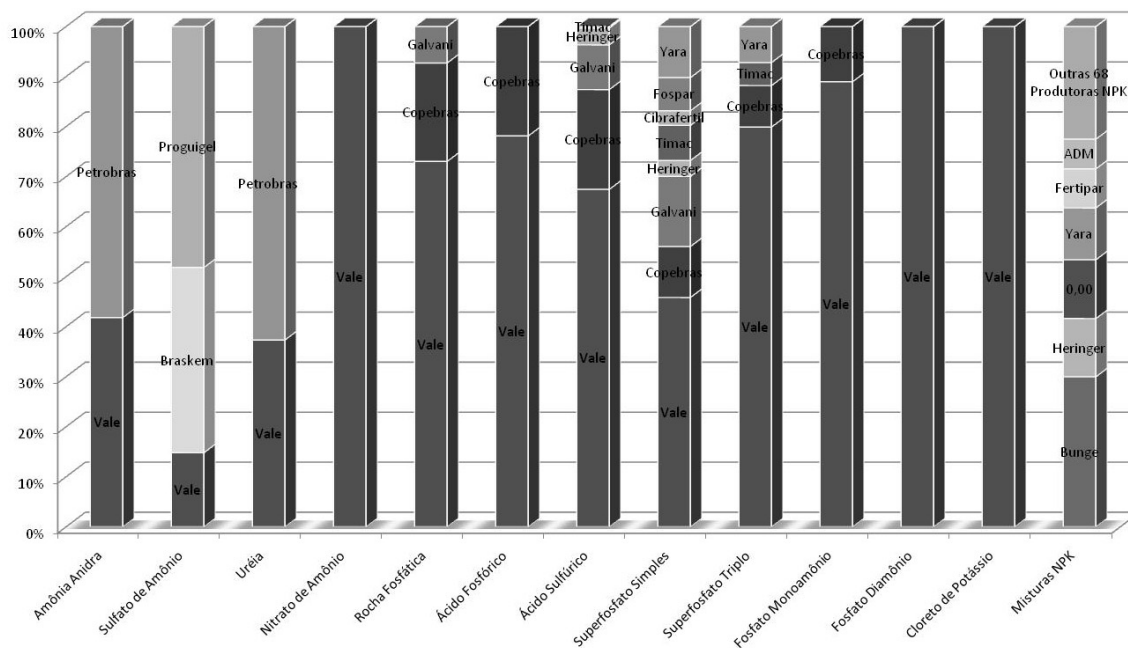
⁷ Em outubro de 2009 foi noticiado o potencial interesse de duas empresas nos ativos colocados à venda pela Anglo American, localizados em Goiás - o nióbio, de interesse da CBMM - Cia Brasileira de Metalurgia e Mineração, e, nos fertilizantes, o interesse da Vale. Na mesma ocasião, em 23 de outubro de 2009, o presidente mundial da Bunge Co. anunciou ao jornal Estado de São Paulo a possibilidade de vir a fechar instalações industriais no Brasil.

Em 27 de janeiro de 2010, a Bunge anunciou que firmou um acordo com uma controlada da Vale, a Mineração Naque, de venda de seus ativos relacionados à produção de matérias-primas e produtos intermediários de fertilizantes no Brasil, incluindo sua participação na Fosfertil. Logo a seguir, no início de fevereiro, a Vale adquiriu também as participações direta e indireta da norueguesa Yara e da americana Mosaic, além das fatias menores da Heringer e da Fertipar na Fosfertil. A Vale também acertou, nos mesmos acordos, contrato com a Mosaic para compra de uma unidade de processamento de superfosfato simples localizada em Cubatão, no estado de São Paulo, o projeto da Yara e Bunge de exploração de fosfato em Anitópolis, Santa Catarina e os demais ativos minerais da Bunge Fertilizantes no país.

Se confirmadas todas essas operações, Bunge, Mosaic e Yara continuam a operar no Brasil mas focadas na fabricação das misturas NPK e vendas ao consumidor final. Neste mercado a Bunge é líder, com mais de 30%.

Sendo assim, como resultado dessas operações, a Vale, depois de gastos de cerca de US\$ 6,0 bilhões, passa a deter 78,9% do capital da Fosfertil (99,81% das ações ordinárias e 68,24% das preferenciais). O interessante é que esta empresa comprou de volta ativos que foram dela quando ainda era uma empresa estatal e que foram repassados à Petrofertil em 1979 / 1980, conforme acima destacado.

Nessa nova configuração a Vale passa a ser a maior produtora nacional de matérias-primas de fertilizantes fosfatados, junto com a Petrobras, que continua na produção de nitrogenados (Figura 21).



Fonte: Anuário ANDA 2009, dados de 2008; Vale (2010); Fosfertil (2010).

Figura 21 - Capacidade instalada por produto e empresa no Brasil (%), com as mudanças de capital de 2010.

O outro produtor importante na área de fosfatados, a Copebrás, do grupo sul-africano Anglo American, está à venda desde o ano passado.

No plano internacional também 2010 trouxe modificações. Em fim de fevereiro deste ano, a gigante norueguesa Yara International ASA acertou a compra da empresa americana de fertilizantes Terra Industries, proprietária de seis plantas de fertilizantes nitrogenados nos EUA. O negócio, mais um capítulo da concentração no setor mundial de fertilizantes, dará à Yara economia de custos de combustíveis nos EUA, alargando sua fatia no mercado americano.

Finalmente, com relação ao mercado interno, cabe perguntar: O que muda?

O complexo produtor de matérias-primas e produtos intermediários do Brasil responde apenas por 1/3 das necessidades do País. O resto é importado e assim permanecerá até que Vale e Petrobras completem seus planos de expansão.

Quais as vantagens que o controle sobre a produção da indústria de base de fertilizantes nas mãos da Vale apresenta? Capacidade de investimento? Conhecimento do setor pois está no ramo de potássio e já foi a proprietária da Fosfertil até o fim dos anos 70? Tem a logística?

Parece inquestionável que o potencial da agricultura brasileira é enorme. A demanda mundial de alimentos também indica preços ascendentes para as *commodities*.

Se houver o aumento da oferta no mercado das matérias-primas fertilizantes, a tendência é que haja um fortalecimento do elo da cadeia final, o dos misturadores e distribuidores do NPK.

O que o poder público deve buscar de qualquer maneira é garantir que haja um progressivo aumento na concorrência nos vários elos da cadeia, que é o que irá garantir a melhor alocação dos recursos e melhorar a eficiência da cadeia produtiva como um todo.

Referências bibliográficas

- ABIOVE. Produção responsável no agronegócio soja. São Paulo: Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais, 2007. Disponível em: www.abiove.com.br/sustent/sustenta_agronegocio_soja_br.pdf. Acesso em 20 fev. 2010.
- ABIQUIM. Anuário da Indústria Química Brasileira. Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM. São Paulo, 2009.
- AMB. Anuário Mineral Brasileiro. Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM. Vários números desde o número 1 em 1972 e a última publicação em 2006. Ano-base 2005. Brasília. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=66>. Acesso em 15 jul. 2009.
- ANDA. Anuário estatístico do setor de fertilizantes. Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA. Vários números desde o número 1. São Paulo, 2009.
- CNAE 2.0: Subclasses. CNAEWeb. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: www.cnae.ibge.gov.br/. Acesso em 22 fev. 2010.
- CVM/IAN. Informações anuais. Fosfertil. Comissão de Valores Imobiliários – CVM. São Paulo, 2008.
- CVM/ITR. Informações trimestrais. 31/03/2009: Yara Brasil Fertilizantes S/A. Comissão de Valores Mobiliários – CVM. São Paulo, 2009.
- FOSFERTIL. Site, 2010. Disponível em: <http://www.fosfertil.com.br>. Acesso em 2 mar. 2010.
- KULAIF, Yara. A nova configuração da indústria de fertilizantes fosfatados no Brasil. n. 42. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. Série Estudos e Documentos – SED. Rio de Janeiro, 1999a.
- KULAIF, Yara. A indústria de fertilizantes fosfatados no Brasil: perfil empresarial e distribuição regional. n. 43. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. Série Estudos e Documentos – SED. Rio de Janeiro, 1999b.
- KULAIF, Yara. A nova configuração da indústria de fertilizantes no Brasil. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- LACERDA, Maíra Paes. Porque os fertilizantes subiram tanto? Hortifrutti Brasil. março, 2009.
- MINERALDATA. Séries históricas do setor mineral brasileiro. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://w3.cetem.gov.br:8080/mineraldata>. Acesso em 3 jul. 2009.

- MME/DNPM. Prévia da indústria mineral 2009-2008. Ministério de Minas e Energia – MME. Departamento Nacional da Produção Mineral Brasília - DNPM, 2009. Disponível em: <www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/publicacoes/Previa/Previa_da_Industria_Mineral_2009_2008.pdf>. Acesso em 02 ago. 2009.
- SAAB, Ali Aldersi; PAULA, Ricardo de Almeida. O mercado de fertilizantes no Brasil: diagnóstico e propostas de políticas. Apresentado ao GT de Fertilizantes. MME/DNPM/CRRM. Brasília. 2008.
- SCHMIDT, Cristiane Alkmin Junqueira; LIMA, Marcos André (2002). Índices de concentração. Central de documentos, Secretaria de Acompanhamento Econômico - SEAE, Ministério da Fazenda – MF. Brasília, 2002. Disponível em: <www.seae.fazenda.gov.br/central_documentos/documento_trabalho/2002-1/doctrab13.pdf>. Acesso em 6 ago 2009.
- SMB. Sumário Mineral Brasileiro. Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM. Vários números, desde o número 1, em 1970 e a última publicação em 2008, ano-base 2007. Brasília. Disponível em: <www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=64>. Acesso em 01 marl. 2010.
- VALE. Site, 2010. Disponível em: <www.vale.com>. Acesso em 2 mar. 2010.

AGROMINERAIS: RECURSOS E RESERVAS

ANTONIO FERNANDO DA SILVA RODRIGUES¹; DAVID SIQUEIRA FONSECA²; MATHIAS HIDER³; RICARDO EUDES PARAHYBA⁴ E VANESSA M. M. CAVALCANTE⁵

Introdução

O estudo atém-se ao Setor Primário da Economia, especificamente ao extrativismo mineral, nas dimensões da geodiversidade, disponibilidade primária de recursos agrominerais, aspectos de mercado, relações de dependência e sustentabilidade entre o agronegócio e mineralnegócio.

A expectativa é que contribua para a instrumentalização e a convergência de políticas públicas mineral e agrícola, bem como definição de estratégias de planejamento setorial, condição fundamental para antever vulnerabilidades e assegurar as condições de competitividade, rentabilidade e sustentabilidade do mineralnegócio e do agronegócio, sob uma perspectiva em ambiente de crise econômica mundial.

Sobre a dinâmica do fluxo de direitos minerários

A análise da dinâmica de fluxo de processo no DNPM, na perspectiva de habilitação à concessão/outorga de direitos minerários — diplomas legais de acesso à exploração e exploração (lavra) de minerais — torna evidente a convergência de parte significativa dos requerimentos de pesquisa mineral para aquelas substâncias usadas na fabricação de fertilizantes.

DOMÍNIO DA AMAZÔNIA

O impacto positivo do maior fluxo de requerimentos se apresenta, mais notadamente, na Amazônia, cujos alvos preferenciais são os depósitos de evaporitos do médio rio Amazonas, em áreas do entorno das jazidas de silvinita de Arari e Fazendinha, sob titularidade da PETROBRAS, situadas nos domínio político-administrativo dos municípios de Itacoatiara e Nova Olinda do Norte, estado do Amazonas (Figura 1).

Destacam-se como principais inversores os seguintes grupos/empresas: Petrobras S.A., Falcon Metais Ltda., Amarelo Mineração do Brasil, Potássio do Brasil Ltda., Potássio Ocidental Mineração Ltda. e SERGAM Ltda.

DOMÍNIOS DO SEMIÁRIDO E DA PLATAFORMA CONTINENTAL

Estado de Alagoas

O estado de Alagoas apresenta o seguinte mapa áreas oneradas com requerimentos e autorizações de pesquisa de sais de potássio (Figura 2).

¹ M.Sc Geólogo (UNICAMP). Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM/MME). E-mail: antonio.fernando@dnpm.gov.br

² Geólogo (UnB). Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM/MME). E-mail: david.fonseca@dnpm.gov.br

³ Engenheiro de Minas (UnB). Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM/MME). E-mail: mathias.heider@dnpm.gov.br

⁴ Geólogo (UnB). Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM/MME). E-mail: ricardo.parahyba@dnpm.gov.br

⁵ M.Sc Geóloga, (UFC). Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM/MME). E-mail: vanessa.cavalcanti@dnpm.gov.br

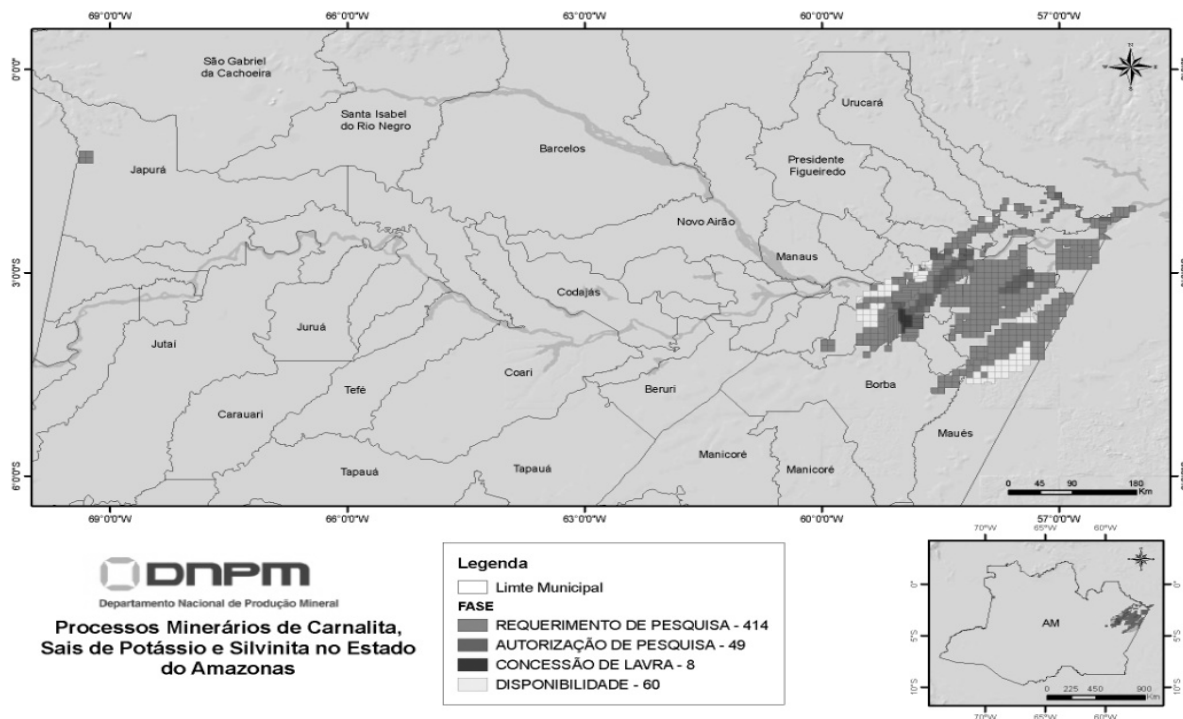
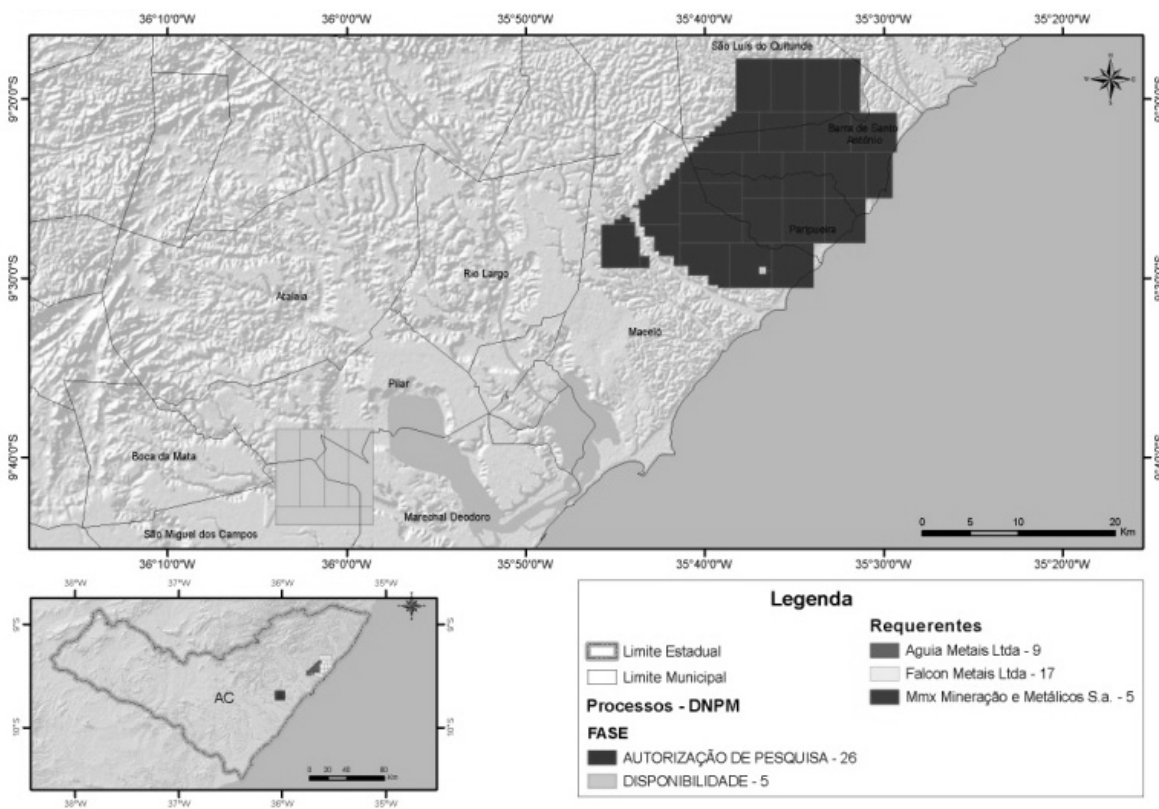
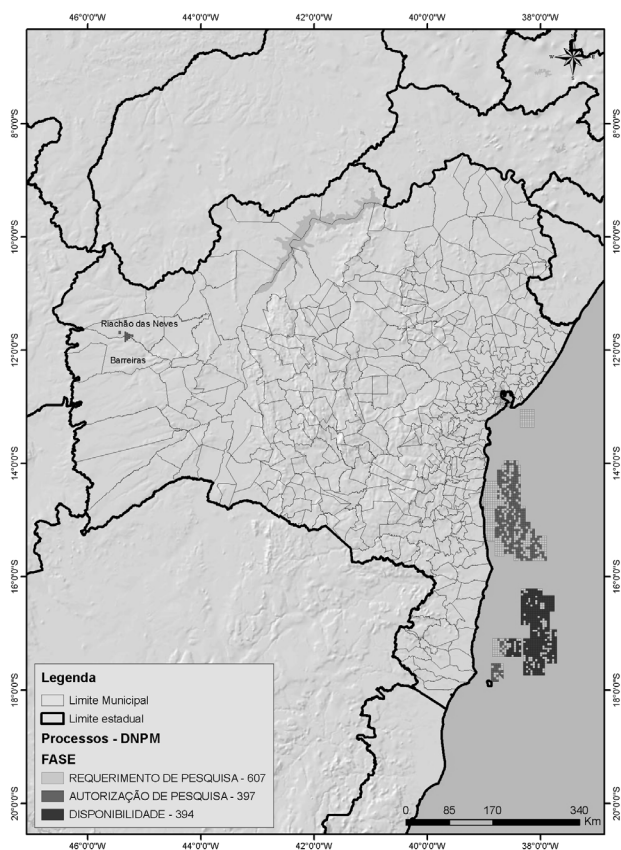


Figura 1 - Amazonas: fluxo de requerimentos de pesquisa mineral.



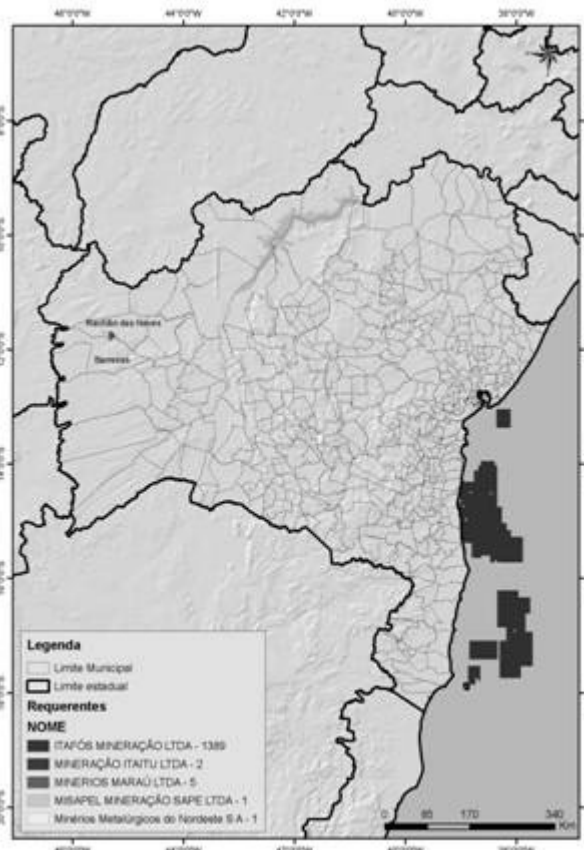
Fonte: DNPM.

Figura 2 - Alagoas: fluxo de requerimentos de pesquisa mineral.



Fonte: DNPM

Figura 3 - Bahia: Fluxo de Requerimentos.



Fonte: DNPM.

Figura 4 - Bahia: Principais empresas.

Estado da Bahia

Na Bahia o fluxo converge para a plataforma continental, em particular no domínio geomorfológico do Recôncavo Baiano. (Figuras 3 e 4)

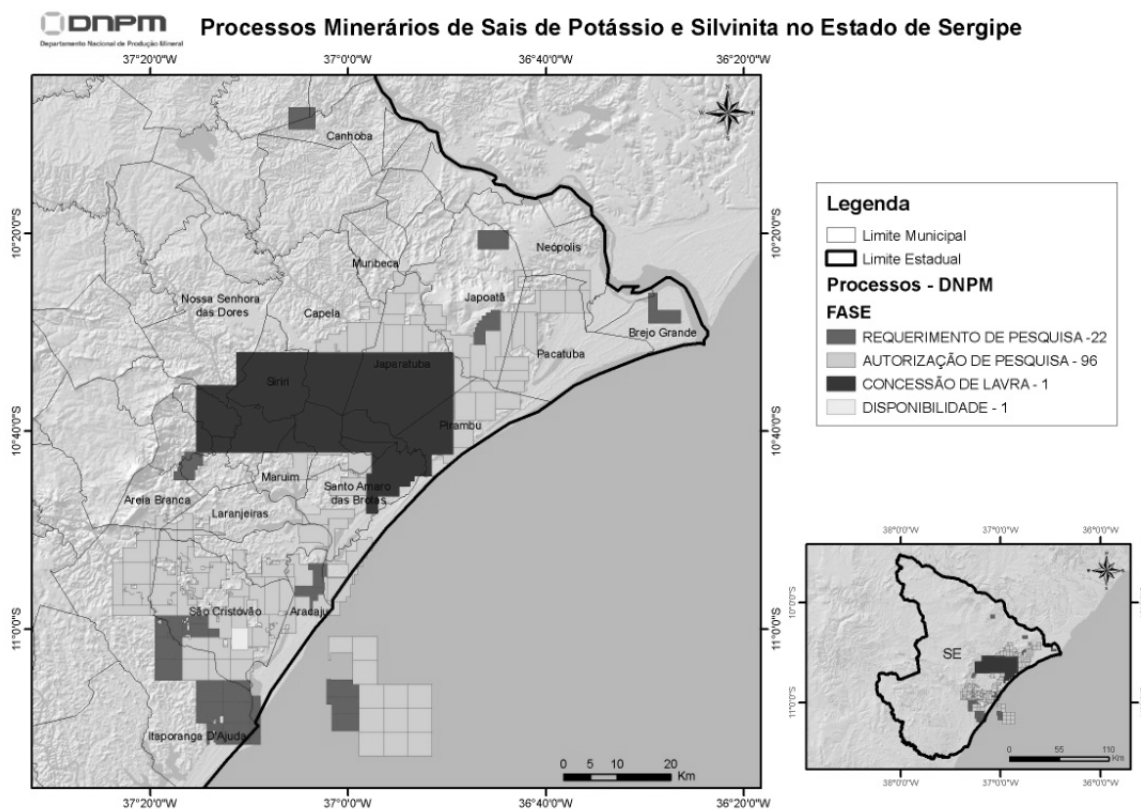
A empresa ITAFÓS Ltda. lidera em número de áreas requeridas (1.389), seguida pela Minérios Maraú (5), Mineração Itaitu Ltda. (2), Minérios Metalúrgicos do Nordeste Ltda. (1) e MISAPEL (1).

Estado do Piauí

No Piauí a PAN-Braziliana Mineração Ltda. requereu quatro áreas e logrou obter dois Alvarás de Pesquisa.

Estado de Sergipe

Em Sergipe, pelos antecedentes de mineração de potássio, registra-se expressivo fluxo de novos requerimentos no entorno da mina de Taquari Vassouras, inclusive no domínio da plataforma continental (Figura 5).

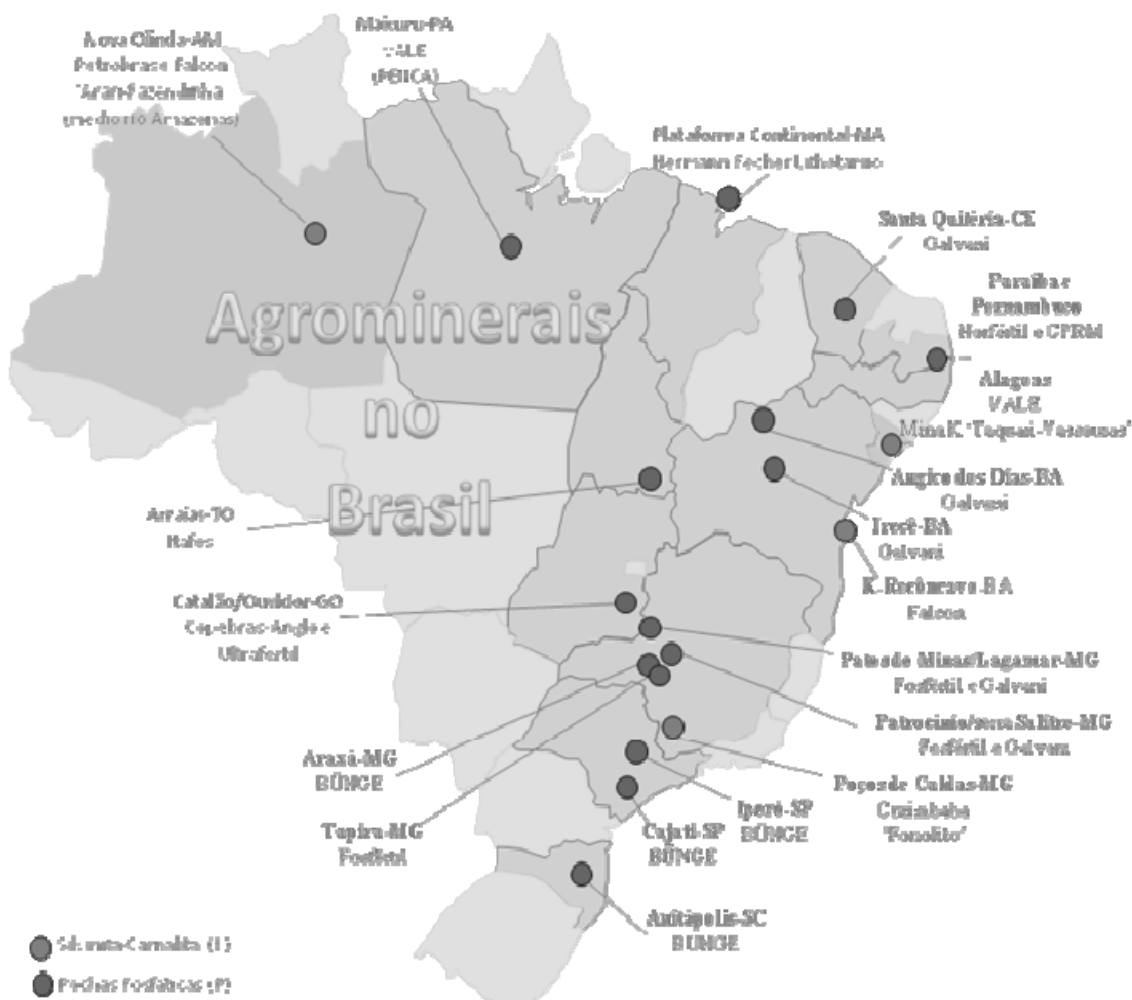


Fonte: DNPM

Figura 5 - Sergipe: Fluxo de requerimento de pesquisa mineral.

Destacam-se entre os principais entrantes no Mineralnegócio do potássio em Sergipe: RIOUNA Ltda (28), Falcon Metais Ltda. (26) e ITAFÓS Ltda. (17 áreas requeridas).

Tem-se ilustrativamente na Figura 6 os principais prospectos e minas de rochas fosfatadas e sais evaporíticos mineralizados em potássio no País.



Fonte: DNPM, 2010.

Figura 6 - Brasil: Espacialização dos principais prospectos e minas de fosfato e potássio.

O quadro abaixo consolida as reservas brasileiras de agrominerais.

Tabela 1 – Agrominerais: disponibilidade e produção primária

AGROMINERAIS (10 ³ t)	Brasil				Mundo		Brasil	
	Reservas			Produção ^p	Reservas	Produção	Participação	
	Medida (R)	Indicada	Total	(P)	(RM)	(PM)	Δ% RM	Δ% PM
Calcário	45.318.712	27.733.114	73.051.826	...	Abundante
Gipsita	865.805	364.413	1.230.218	2.100	Abundante	152.000	...	1,38
Enxofre ¹	48.506	207	48.713	513	...	70.300	...	0,73
Fosfato ²	231.986	105.420	337.406	6.300	16.000.000	158.000	2,11	3,99
Potássio ³	935.466	308.138	1.243.604	453	8.500.000	25.000	14,63	1,81

Notas: ¹Produção derivada de sulfetos, petróleo/folhelho betuminoso (PR); ²Concentrado: 35% (P₂O₅); 3K₂O-equivalente. ^p Preliminar; (...) Indisponível ou tabulação inadequada.

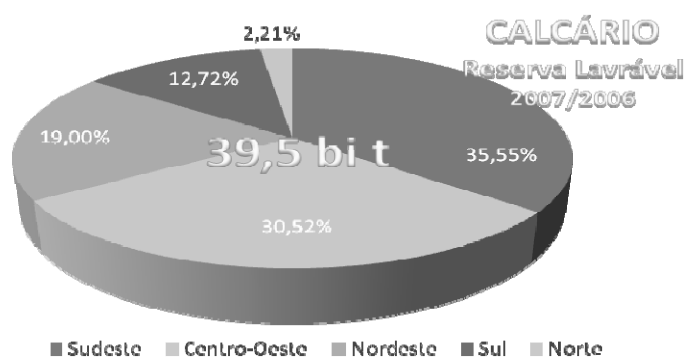
Fonte: DNPM, 2009.

Sobre a disponibilidade primária dos agrominerais

CALCÁRIO: RECURSOS/RESERVAS E PRODUÇÃO

A extensão continental (8,5 Mkm²) e a geodiversidade do Brasil, associados a expressivos domínios de ambientes cársticos (Karst), condicionam uma abundância relativa da disponibilidade primária de rochas calcárias, na medida em que esses recursos, independentemente das características mineralógicas (calcítica e magnésiana), podem ser absorvidos como insumos pelas modernas técnicas agrícolas na correção da acidez do solo (rochagem/calagem), em prevalência.

A consolidação contábil das reservas (medida + indicada + inferida), declaradas ao DNPM (2007-ano base 2006), aponta recursos superiores a ordem de 97,3 Bt de calcário (calcítico e dolomítico). Admitindo-se a irrelevância de eventual variação nos anos mais recentes na participação das macrorregiões brasileiras, exercícios de proporcionalidade (2006) resultam no *ranking* que segue: Sudeste (35,5%), Centro-Oeste (30,5%), Nordeste (19,0%), Sul (12,7%) e Norte (2,2%), conforme Figura 7.



Fonte: DIDEM/DNPM, 2009.

Figura 7 - Macrorregiões: *ranking* de disponibilidade primária de calcário.

Adverte-se, contudo, que os trabalhos de pesquisa mineral e RALs – Relatório(s) Anual(is) de Lavra encaminhados ao DNPM são, em prevalência, de empresas que compõem a cadeia produtiva da indústria cimenteira nacional. Ademais, conforme disposto na Lei n.º 6.567/1978, no caso de empreendimentos voltados à produção de calcário para emprego como corretivo de solos, os titulares de direitos minerários poderão optar pelo Regime de Licenciamento (Lei nº 6.567/78), o que significa a dispensa de pesquisa mineral prévia e lavra imediata desses recursos.

Com efeito, em razão do dispositivo legal acima referido, grande parte dos recursos de calcário foge ao controle contábil do DNPM, podendo-se admitir que as reservas oficiais estão muito aquém do real potencial que a Geodiversidade do País encerra. Contudo, a despeito desse fato, considerando-se apenas o conceito mínero-empresarial de reservas lavráveis incorporado ao AMB-Anuário Mineral Brasileiro (ano-base 2006), projetam-se como principais detentores desse recurso mineral: Minas Gerais com 8,7 Bt (62,3% do Sudeste); Mato Grosso do Sul com 5,6 Bt (46,5% do Centro-Oeste); Paraná com 4,7 Bt (93,1% do Sul); Bahia com 1,9 Bt (25,1% do Nordeste); e Pará com 489,9 Mt (56,1% das reservas lavráveis da região Norte). Compete registrar, que oficialmente, até o ano de 2007, não se contabilizavam reservas de calcário nos Estados do Acre, Amapá e Roraima (Tabela 2).

Tabela 2 - Calcário: recursos e reservas do Brasil – 2007 (ano base 2006).

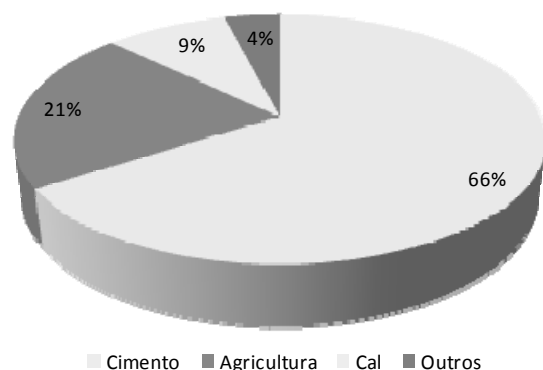
Reservas 2007/06	CALCÁRIO (t)					
	Medida	Indicada	Inferida	Diponibilidade	Lavrável	Part. %
BRASIL	45.318.711.610	27.733.114.470	24.236.183.036	97.288.009.116	39.461.753.879	100,00
Norte¹	863.640.388	459.868.256	398.071.925	857.940.181	873.962.909	2,21
PA	505.095.943	222.200.284	219.894.511	442.094.795	489.937.445	56,06
RO	173.241.424	94.507.862	90.336.602	184.844.464	219.930.810	25,16
TO	101.197.783	35.621.533	43.840.812	79.462.345	100.197.783	11,46
AM	84.105.238	107.538.577	44.000.000	151.538.577	63.896.871	7,31
Nordeste	8.167.775.285	4.964.908.732	4.344.782.398	17.477.466.415	7.498.855.463	19,00
BA	1.979.533.699	881.735.153	775.146.582	3.636.415.434	1.885.261.072	25,14
CE	2.555.800.757	1.913.597.253	1.607.011.498	6.076.409.508	1.873.544.260	24,98
RN	1.529.838.767	1.364.879.043	1.028.084.908	3.922.802.718	1.382.510.278	18,44
PB	807.849.922	267.834.714	621.462.400	1.697.147.036	910.206.718	12,14
SE	644.649.467	277.814.141	185.244.189	1.107.707.797	643.080.733	8,58
PE	240.734.430	167.200.587	114.495.741	522.430.758	318.618.824	4,25
MA	289.416.050	523.284	0	289.939.334	289.939.334	3,87
PI	58.738.147	78.108.557	121.080	136.967.784	134.093.006	1,79
AL	61.214.046	13.216.000	13.216.000	87.646.046	61.601.238	0,82
Centro-Oeste	17.051.303.868	15.335.542.690	13.594.502.709	45.981.349.267	12.043.047.613	30,52
MS	9.743.303.180	5.924.784.617	5.698.490.514	21.366.578.311	5.600.378.084	46,50
MT	5.001.626.298	7.650.883.847	7.533.409.048	20.185.919.193	4.228.685.252	35,11
GO	2.171.390.827	1.735.038.891	331.451.392	4.237.881.110	2.172.963.078	18,04
DF	134.983.563	24.835.335	31.151.755	190.970.653	41.021.199	0,34
Sudeste	14.009.190.677	5.984.815.081	4.315.242.818	24.309.248.576	14.028.072.748	35,55
MG	8.786.605.214	3.493.843.868	3.700.196.768	15.980.645.850	8.743.844.625	62,33
SP	2.375.487.522	1.656.135.727	541.947.199	4.573.570.448	2.561.792.121	18,26
RJ	1.923.841.139	522.808.803	53.150.637	2.499.800.579	2.016.570.544	14,38
ES	923.256.802	312.026.683	19.948.214	1.255.231.699	705.865.458	5,03
Sul	5.226.801.392	987.979.711	1.583.583.186	7.798.364.289	5.017.815.146	12,72
PR	4.726.561.498	811.168.428	1.443.545.517	6.981.275.443	4.671.159.624	93,09
RS	277.748.548	161.670.160	135.352.769	574.771.477	275.240.712	5,49
SC	222.491.346	15.141.123	4.684.900	242.317.369	71.414.810	1,42

Notas: ranking referente às reservas lavráveis. No Acre e Roraima não há registros de reservas no banco de dados do DNPM.

Fonte: DIDEM-DNPM, 2009.

Produção

No ano de 2008, a produção brasileira de calcário, foi de 114 Mt e dessa, cerca de 74 Mt foram destinadas à indústria cimenteira, 23 Mt à produção de calcário agrícola, 12 Mt à produção de cal e o restante aos demais setores da indústria, inclusive produção de brita (Figura 8).

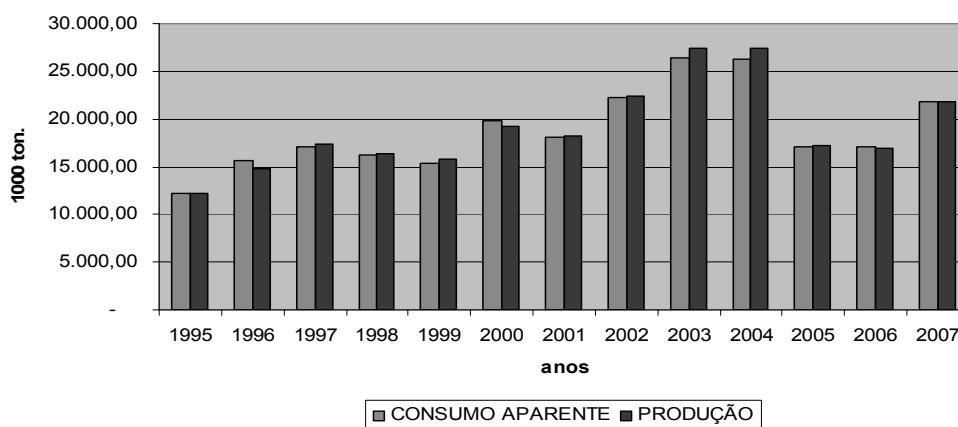


Fonte: DNPM, 2009.

Figura 8 - Perfil dos consumidores de calcário (%) 2008.

Conforme os dados de produção e comercialização obtidos juntos à ABRACAL e ao MAPA, observa-se que houve um perfeito equilíbrio entre a produção e a demanda interna brasileira de calcário agrícola no período estudado, (Figura 9), e que a produção reverteu, em 2007, com uma tendência declinante observada a partir de 2005. As projeções sobre o volume da produção para 2008 indicam a manutenção dos mesmos níveis alcançados em 2007.

A composição da produção nacional apresenta a região Sudeste como responsável pela produção de 33% do calcário agrícola, seguido do Centro-Oeste com 32%, do Sul com 26%, do Norte com 5% e do Nordeste com 4%. Neste contexto, observa-se que, em 2007, 77% da produção de calcário agrícola derivou dos estados de Minas Gerais, Paraná, Mato Grosso, Goiás e São Paulo; se considerados ainda Mato Grosso do Sul, Tocantins e Rio Grande do Sul, a participação alcança a ordem de 93% do calcário agrícola produzido no País.



Fonte: ABRACAL, MAPA.

Figura 9 - Evolução da produção x demanda de calcário agrícola (1000 t).

Em 2007 pouco mais de 80% da produção de calcário agrícola no país foi comercializada no âmbito dos estados produtores e a parcela restante de 20%, foi comercializada com outros estados, sempre na observância do raio econômico entre a mina – mercado consumidor.

O Paraná destacou-se como o estado que mais comercializou calcário para fora de suas fronteiras, 40% do total interestadual comercializado e 38% de sua produção, seguido por Minas Gerais que comercializou 24% de sua produção, o correspondente a 28% do comercializado externamente e o Tocantins, com a particularidade de que esse estado exportou para outras unidades federadas 70% de sua produção, tendo, portanto no ano consumido 30% do que produziu.

As unidades da federação que expressivamente mais consumiram calcário de outras unidades foram São Paulo, que importou calcário do Paraná e de Minas Gerais; Mato Grosso do Sul e Santa Catarina que absorveram parcela considerável da produção do Paraná; e a Bahia, que consumiu 36% da produção do Tocantins.

CALCÁRIO BIOCLÁSTICO MARINHO

Os granulados bioclásticos marinhos ou simplesmente calcário marinho, são areias e cascalhos inconsolidados constituídos por fragmentos de algas coralíneas (algas vermelhas) ramificadas e maciças ou em concreções, artículos de Halimeda (algas verdes), moluscos, briozoários, foraminíferos bentônicos e quartzo.

A plataforma continental brasileira representa talvez o mais longo e contínuo ambiente de deposição carbonática do mundo, se estendendo desde o rio Pará (lat. 00° 30'S), até as proximidades de Cabo Frio (lat. 23° S), sendo constituída por sedimentos recentes, representados por recifes, areias e cascalhos carbonáticos e concheiros. Estes sedimentos, de modo geral, ocupam a porção média e externa da plataforma, muitas vezes em profundidades maiores que 30 m, dificultando a exploração por métodos tradicionais de dragagem.

Os depósitos viáveis para exploração econômica são areias e cascalhos inconsolidados, constituídos por fragmentos de algas coralíneas ramificadas e maciças ou em concreções, artículos de Halimeda, moluscos, briozoários, foraminíferos bentônicos e quartzo, em que predominam os depósitos formados por algas coralíneas.

Ivan Santana, em trabalho publicado em 1999, estimou reservas da ordem de 1,011 milhão de toneladas de carbonato para a margem continental nordeste e leste do Brasil até a altura de Cabo Frio, considerando uma espessura média para estes depósitos de 5 metros, correspondendo, na época, a mais de 50 vezes a reserva estimada do continente.

O granulado bioclástico é um recurso importante devido a sua utilização como fertilizante, suplemento de ração animal, nutrição humana, farmacologia/cosmética, biotecnologia e, ainda, como filtros para tratamento de água e esgotos domésticos e industriais. O maior exemplo de utilização desses granulados está na França, com o *mâerl*, termo usado para designar um sedimento marinho constituído por algas coralíneas, muito semelhante aos existentes no Brasil, dragado na plataforma continental francesa, com produção expressiva, entre 500 e 700 toneladas/ano. É importante frisar que não se trata de um substituto para o calcário continental usado como corretivo de solo e sim um fertilizante natural que aumenta a rentabilidade dos fertilizantes químicos, havendo pesquisas científicas cujos resultados indicam que esses granulados podem substituir 40% do NPK, com ganhos de até 20% em produtividade.

A semelhança entre o calcário de origem continental e o granulado bioclástico se limita basicamente a alguns elementos químicos comuns a ambos. O vasto número de elementos fundamentais à nutrição contidos nas algas, mas inexistentes nos calcários dolomíticos e/ou calcíticos e sua excepcional estrutura física diferenciam totalmente o calcário biogênico marinho de qualquer outro produto. O calcário continental explorado como corretivo de solos é, na realidade, uma rocha metamórfica e o sedimento que lhe deu origem passou por muitas transformações ao longo de milhões de anos, transformando os elementos originais na rede cristalina dos minerais que compõem a rocha, e, dessa forma, não estão facilmente disponíveis. Entre as principais características que diferenciam o calcário marinho, rico em algas, do continental, estão:

- um grande número de elementos são facilmente disponibilizados, pois estão apenas adsorvidos nas paredes das células, sendo facilmente absorvidos pelos organismos, ou seja, é altamente biodisponível para as culturas, os animais e os seres humanos.
- devido a sua estrutura de origem orgânica e alta porosidade (40 %), ele se incorpora rapidamente a biota, contribuindo significativamente para a redução da contaminação ambiental resultante da lixiviação dos fertilizantes químicos à base de NPK e defensivos agrícolas a partir do solo.
- devido ao seu poder tampão ele potencializa a produtividade agrícola porque mantém o pH do solo na faixa ideal de absorção de nutrientes (5,5 a 6,5).

Nos últimos anos houve um incremento nos requerimentos de pesquisa na plataforma continental brasileira, havendo hoje mais de 260 títulos em vigor, sendo que destes, 155 áreas foram requeridas para pesquisa de granulados bioclásticos, nos estados do Maranhão, Bahia, Espírito Santo e Santa Catarina. Porém, até agora, apenas uma concessão de lavra encontra-se em operação na porção sul da plataforma continental do Espírito Santo, devido a uma série de problemas que vem impedindo a consolidação do setor mineral marinho no Brasil.

O Brasil, líder em vários setores da mineração mundial, mesmo com mais de 4,5 milhões de quilômetros quadrados de mar sob sua jurisdição, ainda não conseguiu se firmar na mineração marinha, atividade que é realizada a mais de 50 anos na Europa e está amplamente disseminada na Ásia, África e Oceania.

Com a crescente dependência nacional dos fertilizantes importados, que poderá vir a se constituir em um entrave ao desenvolvimento do agronegócio, o aproveitamento dos depósitos marinhos de granulados bioclásticos, fosforita e outros insumos poderá reduzir significativamente as importações ou, quem sabe, tornar o Brasil auto-suficiente em fertilizantes.

GIPSITA (GESSO): RECURSOS/RESERVAS E PRODUÇÃO

A exemplo do calcário, os recursos globais de gipsita são considerados abundante (Tabela 3). No Brasil as formações gipsíticas estão associadas às bacias sedimentares Amazônica (Amazonas e Pará); do Parnaíba (Maranhão e Tocantins); Potiguar (Rio Grande do Norte); do Araripe (Piauí, Ceará e Pernambuco); e do Recôncavo (Bahia). Nestes domínios geológicos, três Estados concentram 97,6% das reservas medidas: Camamu, na Bahia (53,3%), Araripe, em Pernambuco (22,4%) e Aveiro, no Pará (21,9%), com destaque para as vantagens qualitativas das jazidas situadas na chapada do Araripe, tradicional pólo gesseiro pernambucano, em fase evolutiva para APL-Base Mineral.

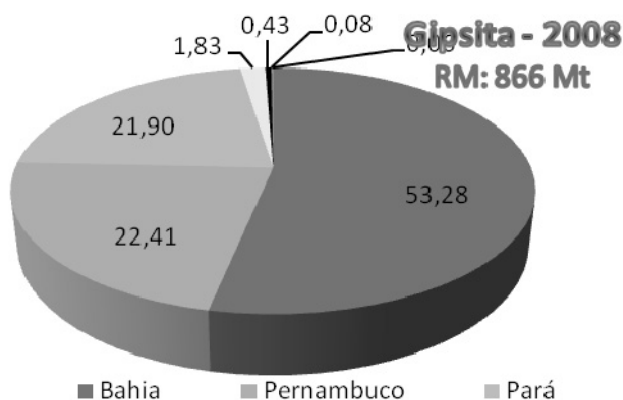
Tabela 3 – Brasil: recursos e reservas de gipsita 2008.

Estados	RECURSOS & RESERVAS DE GIPSITA – 2008 ^P				
	Medida	Partic.	Indicada	Total	Partic.
	(t)	Δ% - UFs	(t)	(t)	Δ% - UFs
Brasil	865.804.446	100,0	364.413.078	1.230.217.524	100,0
Bahia	461.343.861	53,3	93.997.000	555.340.861	45,1
Pernambuco	194.060.024	22,4	61.946.204	256.006.228	20,8
Pará	189.619.891	21,9	204.119.355	393.739.246	32,0
Maranhão	15.822.954	1,8	2.007.437	17.830.391	1,4
Ceará	3.755.895	0,4	0	3.755.895	0,3
Tocantins	671.581	0,1	186.211	857.792	0,1
Outros	530.240	0,1	2.156.871	2.687.111	0,2

Nota: dados preliminares.

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro – AMB – DIDEM-DNPM, 2009.

As reservas (medida + indicada) oficiais de gipsita, contabilizadas pelo DNPM até o ano-base 2008, aproximam-se da ordem de 1,2 bilhão t (Bt). Considerando-se apenas as reservas medidas mais conservadoras para efeito de planejamento de lavra, esses recursos ficam reduzidos ao patamar de 866 milhões t (Mt).



Fonte: DNPM, 2009.

Figura 10 – Reservas medidas de gipsita: participação dos estados (2008).

Produção

No contexto mundial, a natureza cosmopolita do *gypsum* é o fator determinante ao registro de produção (152 Mt, em 2009), em maior ou menor escala, em mais de 80 países (MCS-USGS, 2010). A despeito de o Brasil ocupar modesta posição no *ranking* mundial de produtores, pode-se admitir que a disponibilidade primária de gipsita é abundante e que a produção, ainda que em parte informal, assegura a provisão de insumo base-mineral para a indústria cimenteira e de insumos agrícolas (Tab. 3).

Com efeito, considerando-se os valores mais conservadores de reservas medidas (RM) de 866 Mt de gipsita e simplismo do exercício matemático da relação reservas/produção ($RM=865.804.446t/2.100.000t$), pode-se estimar que a provisão da demanda doméstica nacional está assegurada por mais de 400 anos (*ceteris paribus*).

ENXOFRE: RECURSOS/RESERVAS E PRODUÇÃO

Os recursos mundiais de enxofre elementar estão associados, em prevalência, a depósitos evaporíticos e vulcanogênicos, aos hidrocarbonetos (petróleo, gás natural, petróleo, areias e folhelhos betuminosos), assim como aos sulfetos metálicos, estimando-se uma disponibilidade primária da ordem de 5 bilhões de toneladas. Admite-se que uma abundância relativa do enxofre contido na gipsita (gesso) e anidrita, quase ilimitada na crosta terrestre. Calcula-se em cerca de 600 bilhões de t S contido no carvão e folhelho betuminoso, contudo custos e desenvolvimento de 'rotas tecnológicas' são os principais fatores impeditivos à recuperação de enxofre a partir destas fontes (USGS, 2010). No Brasil, a despeito das dificuldades em contabilizar recursos e reservas de enxofre, declarações das empresas nos RALs apontam reservas medidas da ordem de 48,3 Mt, distribuídas por quatro unidades da federação conforme Tabela 4, abaixo:

Tabela 4 - Reservas de enxofre no Brasil.

UF	Reserva medida			Reserva indicada			Reserva inferida			Total (Contido da Medida + Indicada)
	Minério	Teor (%)	Contido	Minério	Teor (%)	Contido	Minério	Teor (%)	Contido	
MG	10.747.576		118.658	5.604.787		147.935	15.435.289		144.218	266.593
BA	39.016.150	1,59	621.895,00	2.761.100	2,15	59.428	5.118.831	2,81	143.620	681.323
SC	118.872.000	0,40	475.488	0	0	0	0	0	0	475.488
PR	3.018.104.102	1,56	47.082.424							47.082.424
Total	3.186.739.828	1,52	48.298.465	8.365.887	2,48	207.363	20.554.120	1,40	287.838	48.505.828

Fontes: Empresas e relatório anual de lavra.

As reservas de enxofre são assim distribuídas:

- associadas ao petróleo e gás natural - As reservas não estão dimensionadas, haja vista que, a exemplo do nitrogênio, sua contabilização é complicada, pois o teor de enxofre contido no petróleo e no gás natural é variável. A produção nacional de enxofre deriva do processo de refino de petróleo e gás da Petrobrás.
- associadas aos folhelhos pirobetuminosos - No estado do Paraná o enxofre ocorre associado aos folhelhos pirobetuminosos da Formação Irati, da Bacia do Paraná. Esses folhelhos contêm reservas de óleo, gás combustível e enxofre, explorados pela Petrobrás através de um método por ela desenvolvido denominado Petrosix.
- associadas ao carvão no sul do Brasil - No sul do Brasil, principalmente no estado de Santa Catarina, existem depósitos de pirita (FeS_2), associados aos depósitos de carvão da Bacia do Paraná, cujos rejeitos resultantes do beneficiamento de carvão podem conter até 75% de pirita contra 25% de carvão mineral. Adverte-se, contudo, que face inviabilidade econômica esses rejeitos de lavra de carvão com

sulfetos estão há muito tempo estocados e, atualmente, apenas a empresa Carbonífera Metropolitana realiza seu aproveitamento.

- como subproduto de sulfetos - No estado de Minas Gerais existem reservas associadas aos sulfetos de zinco (esfalerita - ZnS) existentes no município de Paracatu e aos sulfetos de níquel e cobre de Fortaleza de Minas, ambas exploradas atualmente pela empresa Votorantim Metais. Em Paracatu, no chamado Morro Agudo, os sulfetos são encaminhados para a unidade da Votorantim localizada em Três Marias onde é produzido ácido sulfúrico. Já em Fortaleza de Minas, no chamado Morro do Níquel, a mineralização é composta por pirrotita (FeS), pentlandita (FeNi)₉S₈ e calcopirita (CuFeS₂) e a planta de ácido fica na mesma localidade.

Outra fonte de enxofre no estado de Minas Gerais é o associado aos sulfetos da mina de ouro denominada Cuiabá, no município de Sabará, cuja exploração é realizada pela empresa Anglo Gold Ashanti. A planta de Ácido Sulfúrico, denominada de Queiroz, localiza-se em Município vizinho, de Nova Lima.

No estado da Bahia o enxofre encontra-se associado aos sulfetos de cobre e é aproveitado desde o ano de 1978 pela empresa Mineração Caraíba S/A no Vale do Rio Curaça, município de Jaguari, que envia o concentrado para a empresa Caraíba Metais S/A, que produz e comercializa cobre eletrolítico tendo como subproduto o ácido sulfúrico.

- enxofre nativo - outro recurso de enxofre, não computado acima, é a de enxofre nativo localizada em Castanhal, município de Siriri, estado de Sergipe, cujas pesquisas realizadas em 1978 pela extinta PETROMISA (PETROBRÁS Mineração S.A.), subsidiária da PETROBRÁS, revelaram a existência de depósitos em sedimentos estratiformes. Embora estes sejam fontes promissoras de enxofre, com um teor médio de 7,1%, não foi possível, até o momento, realizar economicamente sua extração utilizando-se os métodos de lavra atualmente conhecidos, uma vez que o enxofre ocorre de forma descontínua nas camadas sedimentares.

Produção

Conforme estatísticas do USGS (2010), os EUA (9.800 Mt S) mantêm a hegemonia internacional na produção de enxofre, seguido pelo Canadá (9.300 Mt S), China (8.500 Mt S) e Rússia (7.200 Mt S), em 2009.

O Brasil produziu em 2008 um pouco mais de 513 mil t, correspondendo a apenas 0,74% da produção mundial, sendo insuficiente para abastecer o mercado interno. Estimativas indicam que o Brasil necessita entre 2,5 e 3 Mt anuais de enxofre, ou seja, o país produz entre 15 a 20% de sua necessidade. Esta demanda visa atender diversos processos industriais, mais notadamente o de fertilizantes.

O enxofre produzido no Brasil provém de três fontes: folhelho pirobituminoso, beneficiamento do petróleo e processo de ustulação de sulfetos metálico, cuja participação no total tem sido, em média, de 5%, 30% e 65%, respectivamente.

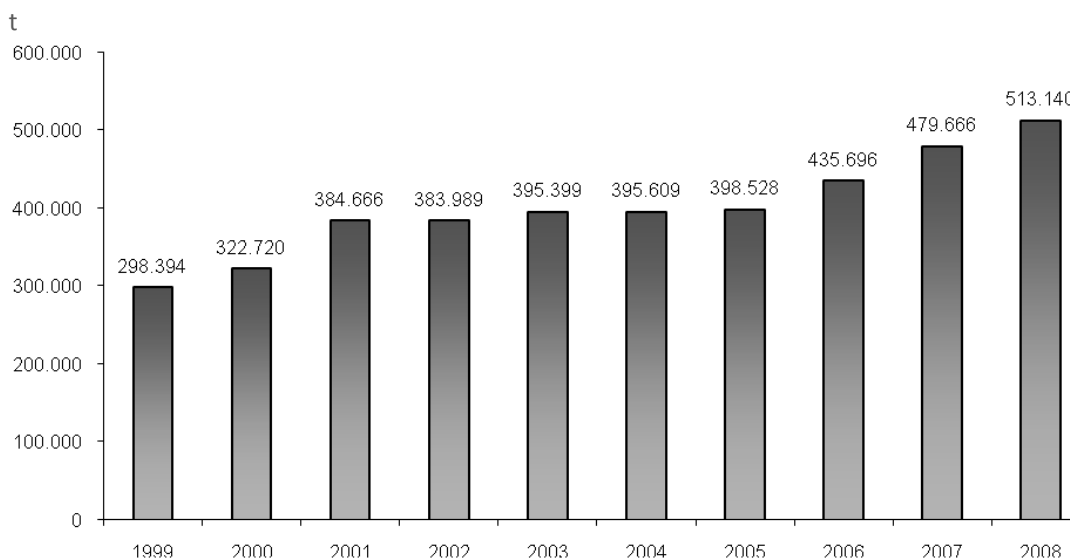
A produção a partir do folhelho pirobituminoso ocorre no município de São Mateus-PR desde o ano de 1971 através de tecnologia desenvolvida pelo Petrobrás. Em 2008 foram produzidas nessa unidade 18.200 t de enxofre

A Petrobrás produz e comercializa também o enxofre recuperado do petróleo e gás natural que representa quase 30% do enxofre produzido no país. Em 2008 foram produzidas 135.354 t.

No estado de Santa Catarina há a recuperação de enxofre contido no rejeito piritoso da mineração de carvão. Em 2008, houve a produção bruta de 5.090 t de S contido. Esta produção não se encontra computada no gráfico abaixo devido ao seu baixo volume.

A produção a partir de sulfetos é realizada pelo Grupo Votorantim no estado de Minas Gerais (sulfetos de zinco em Paracatu e sulfetos de níquel em Fortaleza de Minas, e também pela empresa Anglo Gold Ashanti (sulfetos de ouro em Sabará), na Bahia, pela empresa Mineração Caraíba (sulfetos de cobre em Caraíba, enviados para a Caraíba Metais, localizada no município de Camaçari, Bahia), em Goiás, pela empresa Ya-

mana (sulfetos de Cobre e Ouro em Alto Horizonte, parte do concentrado também enviado para a Caraíba Metais, na Bahia) e pela Vale no Pará (sulfetos de cobre e ouro, em Carajás, parte do concentrado também encaminhadas para a Caraíba Metais). Em 2008, a produção de enxofre como sub-produto de sulfetos respondeu por 359.586 t.



Fonte: DNPM/DIDEM.

Figura 11– Enxofre: evolução histórica da produção brasileira. (2009).



Fonte: DNPM/DIDEM, ANDA e AMA.

Figura 12 - Localização das minas e usinas de enxofre e ácido sulfúrico.

FOSFATO: RECURSOS/RESERVAS E PRODUÇÃO

Conforme exercícios estimativos do USGS – *Mineral Commodity Summary* – 2010, os recursos mundiais de fosfato aproximam-se da ordem de 16 bilhão de t (Bt) (ano base-2009). O *ranking* de recursos/país apresenta a seguinte ordem: 1º Marrocos (36,5%), 2º China (23,7%), 3º Jordânia (9,6%), 4º África do Sul (9,6%) e 5º EUA (7,0%).

No Brasil, as reservas (rocha fosfática) oficialmente aprovadas pelo DNPM (ano base 2008), montam a casa dos 4,76 Bt de minério. Desse montante, cerca de 2,51 Bt representam as reservas medidas e 1,1 Bt as indicadas, com 232 Mt e 104,6 Mt, respectivamente, em termos em P₂O₅ contido, somando, portanto, 337 Mt P₂O₅ contido, o que significa 2,15% das reservas globais de fosfato, ocupando a 6ª posição no *ranking* mundial de países.

Estas reservas (medidas + indicadas) estão concentradas, principalmente, nos estados de Minas Gerais com 67,9% desse total, seguido de Goiás com 13,8%, São Paulo com 6,1%, que juntos participam com 87,8% das reservas do País. Santa Catarina, Ceará, Pernambuco, Bahia, Paraíba e Tocantins compartilham os 12,2% restantes.

Entre as principais empresas envolvidas no setor de fertilizantes e detentoras de direitos minerários sobre jazidas e/ou minas de rochas fosfáticas destacam-se: Fosfértil/Ultrafértil, Bunge Fertilizantes S/A e Copebras, que juntas detêm mais de 80% das reservas acima referidas. Galvani, Itafós Mineração Ltda., Social S/A, Indústria de Fosfatados Catarinense - IFC, CBPM, CPRM e NORFERTIL S/A, compartilham os 20% restantes.

Tabela 5 - Reservas de fosfato por estado - 2008.

UF	Reserva medida			Reserva indicada			Total do Contido
	Minério	Teor%	Contido	Minério	Teor%	Contido	
PB	9.693.081	11,93	1.156.764	10.278.705	11,29	2.317.221	3.473.985
PE	21.467.344	21,09	4.528.309	6.496.584	12,94	840.492	5.368.801
CE	89.178.080	11	9.809.589	3.806.723	11	418.740	10.228.329
MG	1.640.374.838	9,06	148.591.613	700.109.428	9,72	68.032.200	216.623.813
BA	17.102.416	18,43	3.151.727	814.590	17,73	144.406	3.296.133
SP	138.810.270	6,93	9.622.414	192.630.000	5,16	9.933.295	19.555.709
TO	31.206.630	11,24	3.507.625	0	0	0	3.507.625
SC	240.818.000	6,12	14.740.506	0	0	0	14.740.506
GO	320.526.223	11,42	36.614.193	193.606.955	11,82	22.879.672	59.493.865
PI	1.425.428	18,5	263.704	184.954	18,5	34.216	297.920
Total	2.510.602.310	12,57	231.986.444	1.107.927.939	9,82	104.600.242	336.586.686

Fonte: DNPM/DIDEM.

Produção

Conforme registros estatísticos do MCS (USGS, 2010), a produção mundial de rochas fosfáticas são da ordem de 157,7 Mt. O *ranking* mundial de países produtores de fosfato obedece à seguinte ordem: 1º China (34,88%), 2º EUA (17,25%), 3º Marrocos (15,22%), 4º Rússia (5,71%), 5º Tunísia (4,44%) e 6º Brasil (3,99%). Nota: Para fins desse exercício contábil de produção estimou-se a produção brasileira em 6,3 Mt de concentrado do P₂O₅.

Quanto à produção, em 2008, em torno de 83,6% da produção mundial de rocha fosfática esteve concentrada em sete países, destacando-se a China, os Estados Unidos, Marrocos, Rússia, Tunísia, Brasil e Jordânia. Os cinco primeiros países foram responsáveis por 76,5% do total de 167 milhões de toneladas de rocha produzidas no mundo.

No Brasil o parque Industrial de Fertilizantes ocupou em 2008, a 6ª colocação dentre os produtores mundiais de concentrado de rocha fosfática, com 4 % de participação, produzindo ainda ácido fosfórico, vários produtos intermediários sendo que em 2008, tratou em suas plantas de produção 38,4 milhões de toneladas de ROM (*run of mine*) produzindo 6,727 Mt de concentrado com cerca de 34 a 37% de P_2O_5 . A maior produtora nacional em 2008 foi a empresa Fosfertil, com 33% do mercado, seguida pelas empresas Bunge (24,7%), Anglo American/Copebrás (19,21%) e Ultrafertil (15,22%). Juntas, essas empresas detêm 92% da produção de fosfato no Brasil. Outras empresas que participaram da produção foram Galvani, Itafós e Socal. Essa produção continua concentrada nos complexos alcalino-carbonatíticos localizados nos municípios de Tapira, Araxá e Catalão.

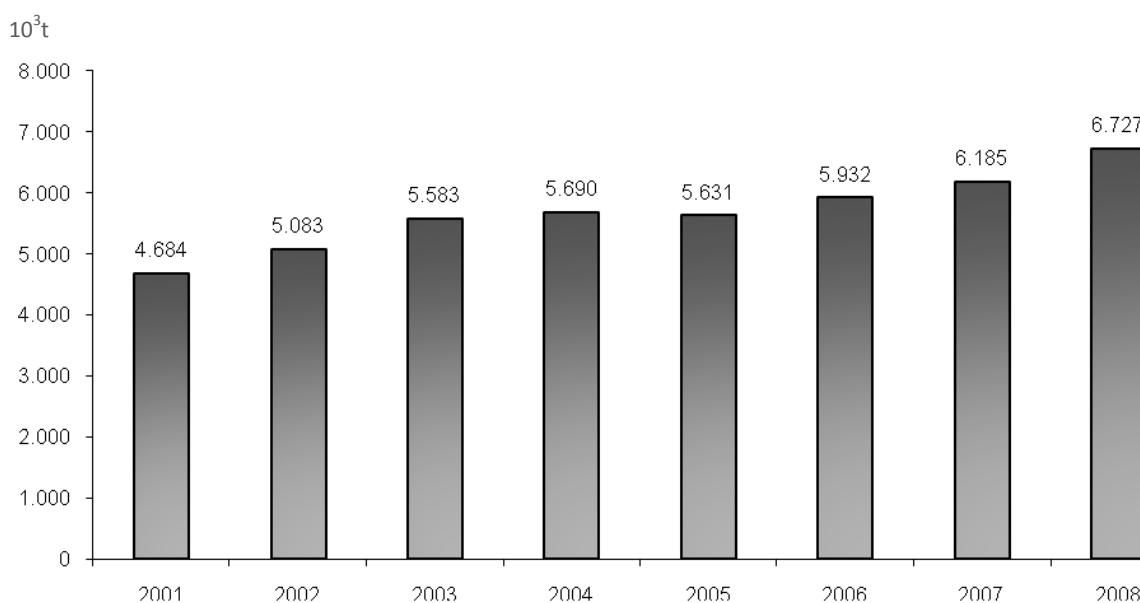
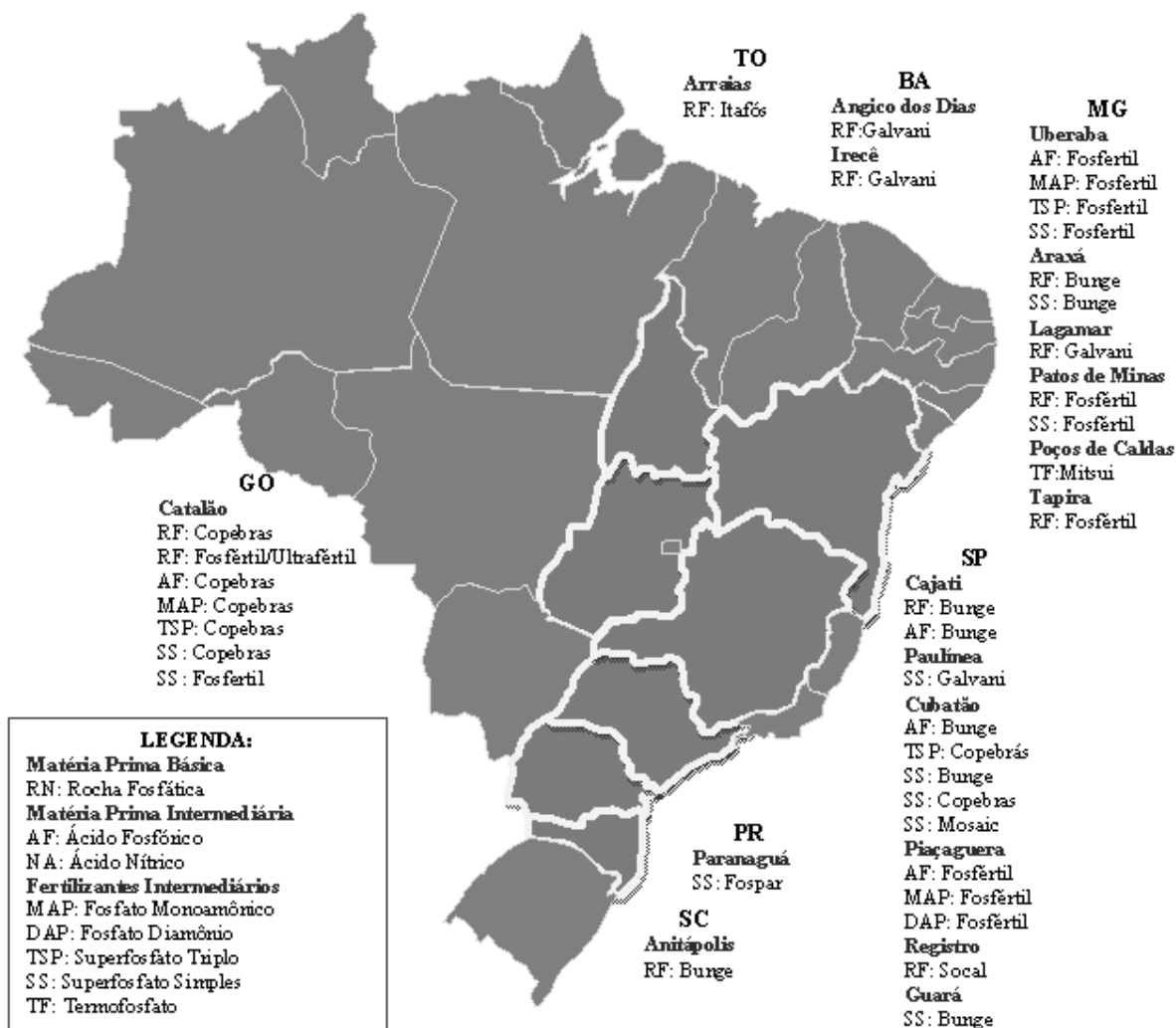


Figura 13 – Rochas fosfáticas: evolução da produção brasileira.



Nota: Não consta o enxofre nem o ácido sulfúrico, já visualizado, mas que também fazem parte desta cadeia. Outros depósitos de fosfato já conhecidos, mas que não se encontram em produção, além do de Anitápolis, são: Maicuru, no Pará e Santa Quitéria, no Ceará.

Fonte: DNPM/DIDEM, ANDA e AMA.

Figura 14 – Estrutura da cadeia produtiva nacional do fosfato (exceto enxofre e ácido sulfúrico).

Potássio: recursos/reservas e produção

Conforme as estatísticas consolidadas pelo MCS-USGS (*Potash*, 2010) as reservas mundiais de potássio (ano base-2009) são da ordem de 8,5 Mt de K₂O equivalente, apresentando o seguinte ordenamento no ranking de países: 1º Canadá (52,0%), 2º Rússia (21,3%), 3º Bielorrússia (8,9%), 4º Alemanha (8,4%) e 5º Brasil (3,5%).

No Brasil, as reservas oficiais de sais de potássio são da ordem de 13 Bt (silvinita e carnalita), decompondo-se em reservas medida (72,6%) e indicada (27,3%). Essas reservas estão localizadas nos estados de Sergipe (Bacia de Sergipe-Alagoas) e do Amazonas (Bacia do Amazonas).

Em Sergipe, as reservas oficiais de potássio totalizaram, no ano de 2008, 489 Mt de silvinita (medida), com teor médio de 9,7% de K₂O, e 11,541 Bt de carnalita (medida+indicada), com teor médio de 8,3% de K₂O, localizadas nas sub-bacias evaporíticas de Taquari-Vassouras e Santa Rosa de Lima, municípios de Rosário do Catete, Carmópolis, Santa Rosa de Lima. Embora esses recursos apresentem considerável ordem de

grandeza, as reservas efetivamente explotáveis (lavráveis) são substancialmente inferiores. Assim, em Taquari-Vassouras, quando da elaboração do Plano de Aproveitamento Econômico, pela extinta PETROMISA, com vistas à implantação da unidade produtora de cloreto de potássio naquela região, trabalhos de reavaliação de reservas definiram como reserva minerável, in situ, 129,6 Mt de silvinita, enquanto que as reservas oficiais, definidas quando do Projeto Potássio, executado pelo DNPM, eram da ordem de 425 Mt. Essa redução deve-se à introdução de parâmetros de minerabilidade, sob a observância de índices de abatimento geológico. Dessas reservas já foram mineradas cerca de 33,95 Mt de minério, no período de 1985-2007. Por outro ângulo, observa-se que na prática, face do método de lavra utilizado (câmaras e pilares), a taxa de recuperação de minério, em Taquari-Vassouras, fica em torno de 50% da 'reserva lavrável'.

Ressalte-se que a produção se concentra em uma só mina *Taquari-Vassouras* e que as demais jazidas, em Sergipe e Amazonas, ainda não entraram em produção, com o fator agravante da descontinuidade de investimentos necessários à reposição estratégica de reservas nacionais, nos últimos 30-40 anos. Ademais, as expressivas reservas oficiais de carnalita ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$), bloqueadas no domínio da bacia evaporítica de Sergipe, carecem de maiores estudos com vistas ao seu aproveitamento (método de lavra e rota tecnológica de recuperação do potássio).

Nessa perspectiva a VALE, arrendatária dos direitos minerários da PETROBRAS herdeira oficial dos ativos/passivos da extinta Petromisa desenvolve em nível de 'projeto-piloto' visando à definição de viabilidade técnica e econômica das reservas de carnalita por processo de dissolução (mine solution). Admite-se que a opção de lavra por mine solution além de envolver menor custo operacional e maior recuperação de minério in situ, deverá reduzir o time de desenvolvimento da mina e início operacional, quando comparada à lavra subterrânea convencional (câmaras e pilares).

Tabela 6 - Reservas oficiais brasileiras de sais de potássio por Estado – 2008

UF	Medida			Indicada		Total	Total
	Minério	Contido (k ₂ O)	Teor (k ₂ O)	Minério	Contido (k ₂ O)	Minério (medida + indicada)	Contido (medida + indicada)
AM ⁽¹⁾	945.076	222.011	23,49	63.020	14.803	1.008.096	236.815
SE ⁽¹⁾	489.638	47.691	9,74	-	-	489.639	47.691
SE ⁽²⁾	8.011.600	665.764	8,31	3.529.900	293.335	11.541.500	959.099
Total	9.446.315	935.466		3.592.920	308.138	13.039.235	1.243.605

Notas: ⁽¹⁾ Silvinita ⁽²⁾ Carnalita Unidade: t.

Fonte: DNPM/DIDEM.

Produção

Conforme estatísticas do USGS, a despeito da significativa queda na produção registrada em 2009, o Canadá com uma produção de 6,5 Mt (queda de -38,1% em relação a 2008) mantém a hegemonia produtiva liderando o *ranking* mundial de países produtores de potássio, seguido por: Rússia, Bielorrússia, China e Israel (Figura 29).

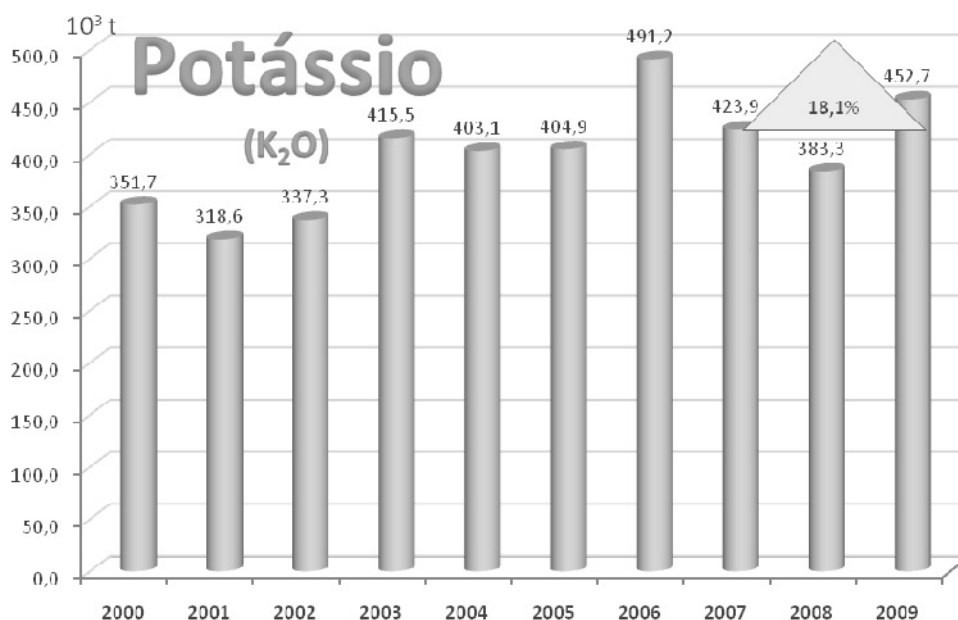
A produção de potássio no Brasil, iniciada em 1985, está restrita ao complexo mina/usina Taquari-Vassouras, no Estado de Sergipe, operado pela Companhia Vale do Rio Doce (VALE). A produção se dá através de lavra subterrânea convencional, sendo o minério silvinita, lavrado através do método câmaras e pilares retangulares, com beneficiamento através de flotação. Em função do mercado, a produção em Taquari/Vassouras tem sido distribuída entre os tipos Standard (0,2 a 1,7 mm) e Granular (0,8 a 3,4 mm).

O Complexo mina/usina Taquari-Vassouras está produzindo a plena carga, observando-se que a produção nos últimos anos esteve acima da capacidade nominal prevista no projeto base (500 mil t/ano de KCl).

Como única fonte doméstica de potássio fertilizante, a unidade produtora de Taquari/Vassouras, mesmo produzindo acima da capacidade nominal, prevista no projeto base (500 mil t/ano de KCl), está distante de suprir a demanda interna pelo produto. Em 2008, a produção atingiu 606,71 mil t de KCl, correspondendo a 383,26 mil t. de K_2O equivalente, tendo sido, essa produção, inferior à observada no ano anterior, quando foram produzidas 670,97 mil t de KCl, correspondendo a 423,85 mil t. de K_2O equivalente.

Apesar da queda observada nos últimos anos, houve um incremento na produção interna tendo crescido de 289 mil t de KCl, em 1993, para os patamares observados nos últimos anos. Ainda assim, em 2008, a produção doméstica de KCl representou apenas de 8,66% do consumo interno aparente.

Conforme informações da VALE a produção de minério bruto (ROM^(*)) em 2009, em Sergipe, foi de 2.570.481 t de silvinita (KCl + NaCl), que submetida a processo de beneficiamento por flotação de cloreto de potássio resultou na produção final de 754.495 t KCl, que convertida significa $\cong 452,7$ t K_2O ^(**) equivalente. Importa registrar a retomada no crescimento da produção na mina de Taquari-Vassouras (+18,1%), quando comparada ao ano imediatamente anterior.



Notas:

(*) ROM - Run of mine;

(**) Usa-se convencionalmente a unidade "K₂O equivalente" para expressar o potássio contido no concentrado de minério (K-contido), embora esta unidade não represente a composição química da substância. Fatores de conversão: KCl puro x 0,63177 = K₂O equivalente K₂O x 0,83016 = K.

Fonte: DIDEM-DNPM, 2010.

Figura 14 - Evolução da produção de potássio (60% de K_2O).

Admitindo-se a capacidade instalada da mina-usina de beneficiamento, calcula-se uma vida útil para a mina de silvinita de Taquari-Vassouras de 7-8 anos, prevendo-se, portanto, sua exaustão em 2016/2017 (*ceteris paribus*).

CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES: TENDÊNCIAS E PERSPECTIVAS SOBRE O POSICIONAMENTO ESTRATÉGICO DO SETOR DE FERTILIZANTES BRASILEIRO

Identificadas e avaliadas as relações de dependência e de sustentabilidade setoriais, enumeram-se a seguir vulnerabilidades e vantagens comparativas do Brasil, na perspectiva de instrumentalizar políticas públicas e da sinergia no planejamento estratégico do agronegócio e do mineralnegócio.

- a geodiversidade do Brasil apresenta 355 Mkm² de solo com aptidão geoagrícola. Admite-se, contudo, que apenas 20% das terras agriculturáveis são utilizados. Esse potencial dos solos, associado ao clima tropical, com chuvas regulares e energia solar abundante, destacam-se como principais vantagens comparativas do Agronegócio, que contribui significativamente para a formação do PIB nacional.
- o Brasil situa-se entre os quatro maiores consumidores de fertilizantes, representando cerca de 6,2% da demanda mundial, liderada pela China, Índia e EUA. Entretanto, a taxa de crescimento anual da demanda brasileira tem superado a média mundial, o que agrava a dependência externa de agrominerais, conforme série histórico-estatística de fertilizantes entregues ao consumidor final: 2005 (20,2 Mt); 2006 (21,0 Mt), 2007 (24,6 Mt); 2008 (22,4 Mt) e 2009 (22,5 Mt) (ANDA, 2010).
- a elevada vulnerabilidade externa tem implicado em significativa evasão de divisas com importação de agrominerais e produtos derivados. Em 2009 as importações de Potássio implicaram na saída de US\$ 2,1 bilhões (3,4 Mt de KCl) e US\$ 18,6 milhões (30,3 mil t K₂O).

Mesmo considerando a menor vulnerabilidade externa do País — haja vista que o parque mínero-extrativista atende mais do 70% da demanda interna de concentrado de P₂O₅ — as importações de matérias-primas fosfatadas implicaram numa evasão de divisas da ordem de US\$ 70,5 milhões em 2009, mais de 50% oriundos do Marrocos. Fica a questão: ainda que o Brasil alcance a autosuficiência no médio prazo (concentrado de fosfato), a dependência de produtos mais elaborados continuaria pesando negativamente na formação da balança comercial de agrominerais? Evidente que a instrumentalização de políticas de desenvolvimento industrial e de tecnologia mineral será fator determinante à mudança dessa perspectiva nos médios e longos prazos.

As descobertas recentes de mega campos de petróleo e gás em estratos geológicos ‘pré-sal’ na plataforma continental brasileira, permite o desenho de um horizonte bastante favorável para o País no que se refere assegurar a provisão da demanda doméstica de enxofre para a agricultura e outros fins industriais. Entretanto, o impacto das importações dessa matéria-prima é muito significativo, registrando-se uma evasão de divisas de US\$ 196,5 milhões, em 2009.

O componente custo de recuperação de nitrogênio (amônia e uréia), dada a relação US\$/m³ gás, ainda apresenta-se como a principal desvantagem comparativa do Brasil na produção de nitrogênio de gás natural de petróleo, quando comparado aos custos de outros países como a Rússia e Arábia Saudita. Em 2009, as importações de amônia e uréia atingiram patamares de US\$ 188,7 milhões e US\$ 512,5 milhões, respectivamente.

A disponibilidade primária de recursos agrominerais e o grau de vulnerabilidade externa do Brasil são críticas, na medida em que a provisão da demanda de fertilizantes básicos (uréia, cloreto de potássio, sulfato de amônia e fosfato reativo) pelo agronegócio apresenta forte dependência de importações: K(92%), N (75%), P (48%) e S (82%).

Macronutrientes	Fontes Primárias	Mínero-Indústria	Fertilizantes Derivados	Dependência Relativa	%
Nitrogênio (N)	GNP-Gás Natural Petróleo (Amônia Anidra) Bacia de Campos-RJ	Indústrias Petroquímicas: Petrobrás ; Brasken; Fosfertil; Proquigel	Uréia Sulfato de Amônio Nitrato de Amônio	Produção Nacional	25
				Importações	75
					100
Fósforo (P)	Rochas Fosfáticas: Sedimentares: Marrocos Ígneas: Carbonatitos, Araxá-MG Produtos Intermediários: Ácido Fosfórico Ácido Sulfúrico	Indústrias: Bunge-Copebras-Fosfertil-Galvan Profertil/Roullier Misturadoras: Cibrafertil-Fospar-Heringer Mosaic - Yara	DAP/MAP Superfosfato Triplo Superfosfato Simples Termofosfato Fosfatos Naturais		
				Produção Nacional	52
				Importações	48
					100
Potássio (K)	Sais Evaporíticos Mineral-minério: Silvinita, Carnalita Mina Taquari-Vassouras'-SE.	VALE (Cia. Vale do Rio Doce)	K ₂ O KCl (Potassium Chloride)	Produção Nacional	8
				Importações	92
					100
Fonte: ANDA, 2008; DNPM, 2008.			Legenda: Vulnerabilidade Externa	Média Elevada	

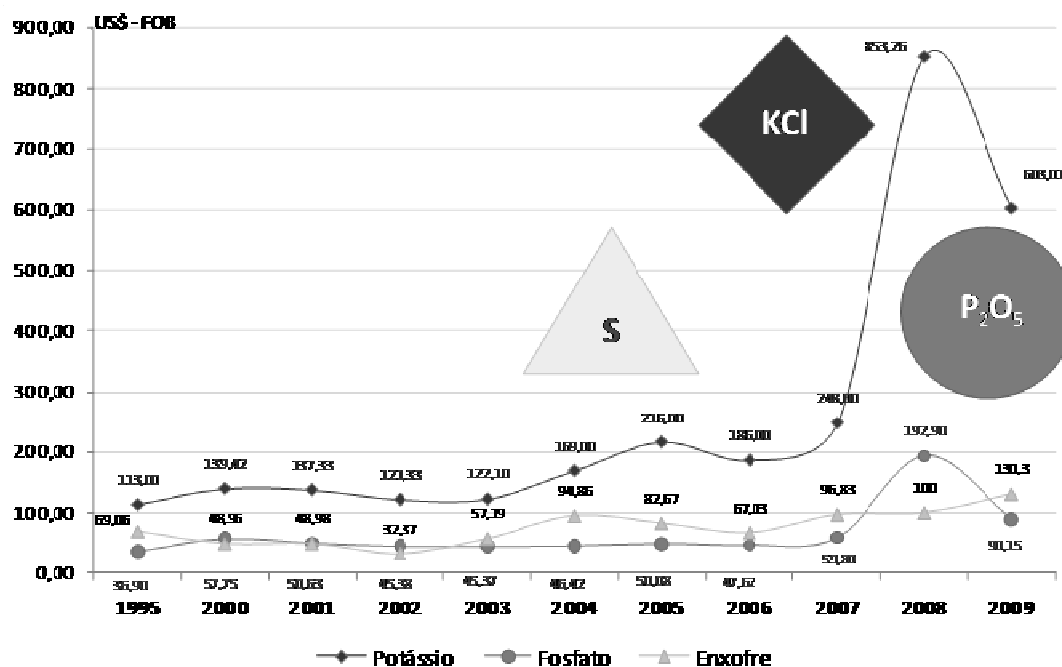
Figura 15 – Fertilizantes (NPK): perfil estrutural da indústria no Brasil.

Tendências e perspectivas

O agronegócio brasileiro experimenta um vigoroso processo de expansão associado fatores externo e interno. O primeiro reflete ao *boom* do mercado internacional de *commodities* agrícolas, atribuindo-se ao crescimento da demanda dos emergentes: China, Índia e Rússia. Ao fator determinante doméstico associam-se o aumento da renda familiar e a ampliação da demanda por biocombustíveis (etanol);

As vantagens comparativas e a inserção competitiva do Brasil no mercado internacional do agronegócio estão estreitamente relacionadas ao equacionamento da provisão de agrominerais, na medida em que a produção nacional fertilizantes básicos (NPK) limitou-se 8,5 Mt (2005), 8,8 Mt (2006), 9,8 Mt (2007), 8,9 Mt (2008) e 8,4 Mt (2009) respondendo, portanto, por apenas 37,3% do consumo doméstico em 2009;

Por outro ângulo, a instabilidade de mercado, associada à volatilidade-preços dos insumos agrominerais nos anos recentes são fenômenos que implicam na menor rentabilidade do agronegócio e aumento de preços dos alimentos;



Fonte: Secex-MDIC, DNPM, ANDA.

Figura 16 - Fertilizantes: volatilidade-preço 1995-2009.

A despeito da crise econômica internacional, exercícios de tendências e cenários apontam um forte crescimento da demanda mundial de potássio, visto a estreita dependência das modernas técnicas agrícolas de insumos agrominerais, em particular da trilogia de macronutrientes: NPK.

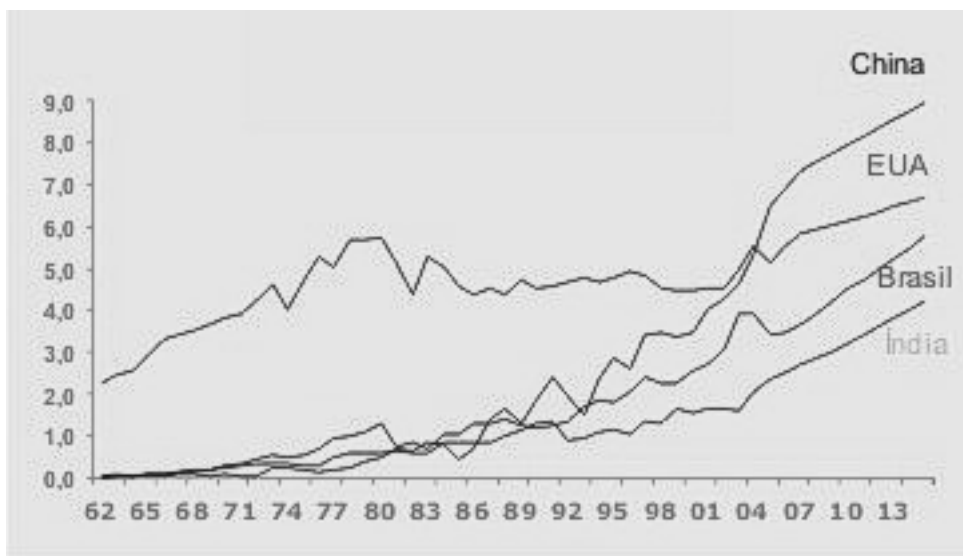


Figura 17 – Potássio: tendência mundial do consumo – 2013.

Agradecimentos

Ao geógrafo Ângelo dos Santos, ao Desenhista Alencar Moreira Barreto e à geóloga Inara Oliveira Barbosa, nossos agradecimentos pelo empenho e valiosa contribuição ao trabalho.

Referências bibliográficas

- ANDA – Associação Nacional para a Difusão de Adubos. Estatísticas. Disponível em <www.anda.org.br/estatisticas.aspx>. Acesso em: 08 mar 2010.
- BERTOLDO, A. O conhecimento geológico no Brasil. Rio de Janeiro: CPRM, 2006. Disponível em <www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=580&sid=48>. Acesso em: 01 mar 2010.
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. *Calcário Agrícola*. In: Economia Mineral do Brasil. Brasília: DNPM/Cidade Gráfica e Editora Ltda. 2009. 536-545 p.
- . *Fosfato*. In: Economia Mineral do Brasil. Brasília: DNPM/Cidade Gráfica e Editora Ltda. 2009. 546-568 p.
- . *Potássio*. In: Economia Mineral do Brasil. Brasília: DNPM/Cidade Gráfica e Editora Ltda. 2009. 546-568 p.
- . *Enxofre*. In: Economia Mineral do Brasil. Brasília: DNPM/Cidade Gráfica e Editora Ltda. 2009. 577-590 p.
- . *Agronegócio e Mineralnegócio: relações de dependência e sustentabilidade*. Brasília: Informe Mineral: Desenvolvimento & Economia Mineral (2º Semestre-2008). v.7. p. 28-46. Disponível em <www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=38>
- . Rochas fosfáticas. Informe Mineral: Desenvolvimento & Economia Mineral (2º Semestre-2008). v.7. p. 28-46. Disponível em <www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=38>.

- . Enxofre. Brasília: Sumário Mineral (2001-2009). Brasília. Disponível em <www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=1165>.
- . Fosfato. Brasília: Sumário Mineral (2001-2009). Brasília. Disponível em <www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=1165>.
- . Potássio. Brasília: Sumário Mineral (2001-2009). Brasília. Disponível em <www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=1165>
- USGS – United States Geological Survey. Phosphate rock. Washington: USGS. Mineral Commodity Summaries - 2010. Disponível em <<http://www.usgs.gov>>.
- . Potash. Washington: USGS. Mineral Commodity Summaries - 2010. Disponível em <www.usgs.gov>.
- . Sulfur. Washington: USGS. Mineral Commodity Summaries - 2010. Disponível em <www.usgs.gov>.

ROTAS TECNOLÓGICAS CONVENCIONAIS E ALTERNATIVAS PARA A OBTENÇÃO DE FERTILIZANTES

ARTHUR PINTO CHAVES¹

Introdução

Desde tempos imemoriais, esterco, restos de plantas e de animais, tortas de grãos vegetais (resíduo da extração do óleo), farinha de ossos e de conchas, cinzas, entre outros materiais, são fontes importantes de fertilizantes. Modernamente, a compostagem de lixo reveste-se de importância fundamental, tanto como solução para o problema do lixo doméstico quanto, como fonte de adubo: os volumes de lixo gerados nas cidades são enormes e a sua disposição é um problema - a compostagem transforma-os em adubos, dando uma destinação mais adequada a eles. É importante ressaltar entretanto que a adubação tem duas funções diferentes:

- fornecer ao solo os nutrientes de que ele é deficiente;
- adequar às condições físicas de ventilação, drenagem e proliferação de microorganismos.

Esterco, tortas e composto orgânico só exercem esta segunda função. Não aportam os elementos químicos necessários.

As plantas, como seres vivos que são, precisam de diferentes elementos químicos para suas funções vitais. Nitrogênio, fósforo e potássio são essenciais para a vida. Cálcio e magnésio são necessários em doses relativamente elevadas. Por isto, este grupo de elementos é chamado de macronutrientes. O cálcio, o magnésio e o enxofre também atuam como corretivos de solos. Já o zinco, ferro, manganês, cobre, boro, molibdênio e cloro são necessários em quantidades menores e por isto são chamados de micronutrientes.

Todos estes elementos precisam ser adicionados ao solo e isto é feito através dos adubos. As matérias-primas para estes produtos são os fertilizantes e uma das vertentes tecnológicas são os fertilizantes solúveis, que aportam obrigatoriamente N, P e K e frequentemente os demais nutrientes, em receitas preparadas de acordo com as necessidades específicas do solo que irão adubar. As fontes de fósforo mais comuns são os fertilizantes fosfatados, apresentados em níveis de alta e baixa concentração.

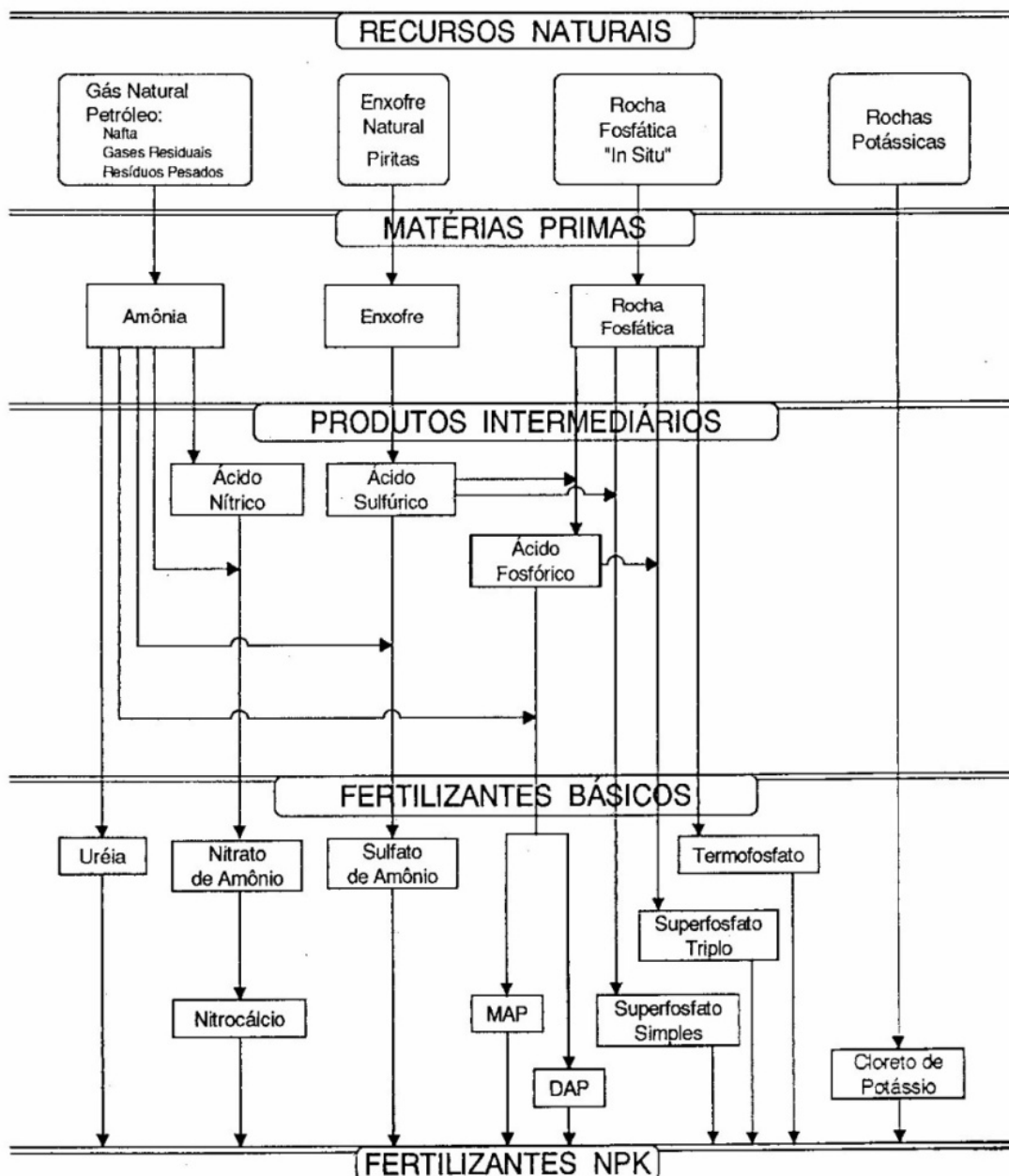
Os fosfatos solúveis de baixa concentração – super simples (SSP), e o fosfato parcialmente acidulado (FPA) - são fabricados fazendo reagir o produto do beneficiamento, concentrado fosfático com o ácido sulfúrico, em reações de longo tempo de duração (cura de produto). Os fosfatos ditos de alta concentração (monoamônio fosfato, MAP, triamônio fosfato, TAP, superfosfato triplo, TSP, e triplo simples, TSP) são feitos reagindo o mesmo concentrado fosfático com ácido fosfórico, para a obtenção de produto com alto conteúdo do fósforo.

Outra vertente, que será examinada adiante são fertilizantes de baixa solubilidade, como os termofosfatos.

O potássio é adicionado na forma de cloreto de potássio.

A Figura 1 esquematiza a cadeia produtiva, as matérias-primas e os produtos a que nos referimos.

¹ D.Sc Professor Escola Politécnica (USP) Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo. E-mail: apchaves@usp.br



Fonte: IBAFOS (1991).

Figura 1 – Rede produtiva de fertilizantes.

O primeiro produto da rota química é a fabricação de ácido fosfórico, H_3PO_4 , onde o teor de P_2O_5 é de 72,5%. O ácido fosfórico pode ser fabricado por via metalúrgica, reduzindo o fósforo em fornos elétricos de redução, hidratando-o em seguida, ou por via química, mediante o ataque da rocha por um ácido que desloque o íon fosfato. Todos os fertilizantes fosfatados de alta solubilidade são produzidos a partir do ácido fosfórico.

Matérias-primas

O nitrogênio pode ser obtido a partir do ar. Como gás elementar ele é inerte e por isto precisa ser transformado em amônia. O gás natural é a fonte do hidrogênio, que é passado sobre catalisador de níquel para ser retirado. O nitrogênio do ar é injetado numa autoclave onde, na presença de outro catalisador é

feita a síntese da amônia. O nitrogênio pode ser utilizado na forma de nitrato de amônia, nitrato de sódio, nitrofosfatos, fosfato de amônia e uréia.

A síntese da uréia é feita pela reação



que é feita em autoclaves, a alta temperatura e pressão.

O nitrato de amônia é obtido pela combustão da amônia, o que produz ácido nítrico, seguida da reação deste ácido com a amônia:



O sulfato de amônio é obtido pela reação do ácido sulfúrico com a amônia:



A fluorapatita é o principal mineral de minério das rochas fosfáticas. Sua composição é $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F})$. Nota-se que o teor de fósforo é geralmente expresso em P_2O_5 , entidade que nem sequer figura nesta fórmula, cujo teor de P_2O_5 é de 42%.

O flúor pode ser substituído por hidroxila (hidróxiapatita) ou por cloro (cloroapatita). O Ca pode ser substituído parcialmente por Mg, Na, Mn e outros. É muito frequente a presença de U_3O_8 na rede cristalina da apatita.

A apatita ocorre em minérios de origem ígnea, onde os grãos geralmente estão melhor cristalizados e por isto são mais puros, e em minérios de origem sedimentar, onde os grãos são mistos com calcita, dolomita, limonitas e argilas. Nestes a cristalização é pior e às vezes, criptocristalina, e o minério é chamado de colofanita.

Sendo cristalizada, a apatita tem baixa solubilidade. Para que o fósforo contido nela possa ser aproveitado pelas plantas, ele precisa ser colocado numa forma solúvel. Isto é feito de duas formas:

- pirometalurgicamente, isto é, fundindo as apatitas e resfriando-as rapidamente, de modo a impedir a recristalização;
- quimicamente, sintetizando um outro fosfato de alta solubilidade.

Já a colofanita é mais solúvel e pode ser aplicada diretamente ao solo. A maior diferença parece estar na substituição do ânion PO_4^{3-} por CO_3^{2-} , que desestabiliza a estrutura cristalina, aumentando a solubilidade, no caso do fosfato de origem sedimentar.

Aqui aparece um detalhe importante: quem na realidade solubiliza o fosfato presente no solo não é a água, mas os ácidos húmicos. Isto é, as raízes lançam no solo ácidos orgânicos capazes de dissolver os elementos químicos dos quais o vegetal se nutre. Por isto existem dois parâmetros de avaliação: a solubilidade em água e a solubilidade em outras soluções, como por exemplo, a solução de ácido cítrico a 2%, que representam melhor o comportamento do fertilizante no solo.

O potássio é obtido principalmente do cloreto de potássio, que ocorre na natureza na forma de minérios em depósitos sedimentares. No Brasil existe apenas uma mina e importamos 95% da quantidade consumida.

Alternativamente, minerais contendo potássio, como os verdetes e feldspatos, vêm sendo utilizados na aplicação direta. Como se tratam de silicatos de potássio, este elemento faz parte da estrutura molecular do mineral, sendo necessário quebrá-la para trazê-lo a uma forma de solubilidade elevada. A primeira idéia é fazê-lo por abertura com ácido fluorídrico, entretanto os custos são proibitivos. As rotas metalúrgicas são alternativas atraentes, seja na técnica de fabricação de termofosfatos, seja através da fusão com cloretos de metais alcalino-terrosos e solubilização do cloreto de potássio formado (Lacombe, 2009).

Questionamento do modelo de fertilização adotado no Brasil

A Figura 2 mostra o mapa da Terra com a linha do Equador e os trópicos de Câncer e Capricórnio. Verifica-se que as terras do hemisfério norte estão muito mais ao norte do que estão ao sul as terras do hemisfério sul. Especialmente, vários países europeus e norte-americanos estão em latitudes mais altas que as brasileiras. No hemisfério sul, os países desenvolvidos - Argentina, África do Sul e Austrália, também estão em latitudes mais altas (mais ao sul) que o Brasil.

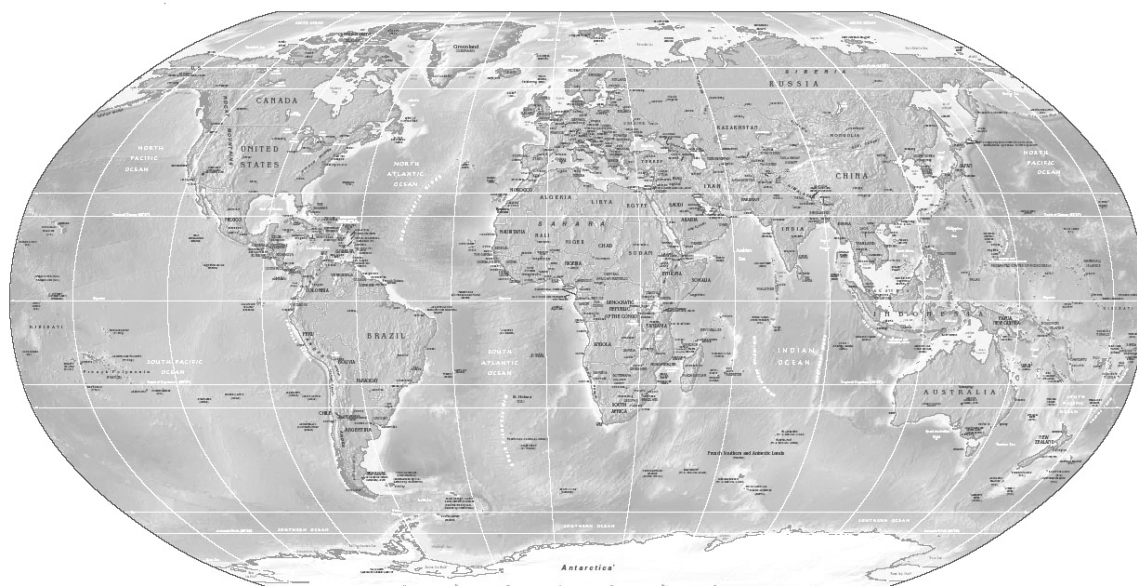


Figura 2 - O Brasil e os países desenvolvidos em relação à latitude.

Por isto, o clima brasileiro é diferente do dos países desenvolvidos. Se o clima afeta o temperamento dos povos, a cultura, os hábitos de vestir, a arquitetura, os relacionamentos sociais, afeta também os solos e a agricultura.

Com efeito, nas latitudes elevadas, existem quatro estações bem definidas, o inverno é frio e o verão é quente. Na maior parte do Brasil, situada entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, existem apenas duas estações - uma quente e seca e outra quente e úmida. As temperaturas médias são muito mais elevadas que nos países desenvolvidos e a precipitação atmosférica, muito mais intensa.

Outrossim, na estação úmida, chove muito. Ubatuba, SP, recebe 2.400 mm anuais de precipitação, toda ela na forma de chuvas. E estas costumam ser torrenciais no auge da estação chuvosa, modelo que se repete por todo o Brasil. Isto é importante para a nossa consideração porque nas latitudes altas, a precipitação predominante é na forma de neve: esta cai, acumula-se sobre o solo ou no alto das montanhas, e derrete-se lentamente, mantendo o solo úmido e o suprimento de água (a partir das geleiras ou neves eternas), bastante regular durante o resto do ano.

Como resultado, nas regiões quentes, como a em que o Brasil está, os minerais, especialmente os dos solos, são lixiviados, dissolvidos, remobilizados e alterados com intensidade muito maior que nas regiões temperadas, onde estão os países desenvolvidos.

Em conseqüência, os solos adquirem características bem definidas e bastante diferentes, como mostra a Tabela 1. Em princípio, portanto, as práticas agrícolas e de manejo dos solos precisam ser necessariamente diferentes.

A atividade agrícola brasileira, o tão festejado *agrobusiness*, é extremamente importante para a economia nacional e para o balanço comercial. Ela é totalmente dependente da correção dos solos e da adubação,

tanto orgânica como química. A tradição agrônômica brasileira é a de uso de fertilizantes fosfatados de elevada solubilidade em água e rápida liberação de nutrientes. Exceção a este modelo são as colônias japonesas, principalmente no Estado de São Paulo, que dão preferência aos termofosfatos. Lembrando que o Japão é um país de reconhecida tradição agrônômica e que os descendentes de japoneses no Brasil, no imaginário comum, estão íntima e indissolúvelmente associados à atividade agrícola, é de se questionar o porque desta prática diferenciada.

Tabela 1 - Principais características de solos tropical e temperado (*apud* Oba *et al.*, 2000).

Tropicais	Temperados
predomínio de caulinita	predomínio de montmorilonita
mais profundos	mais rasos
pequena capacidade de troca de cátions	elevada capacidade de troca de cátions
mais pobre em Si	mais rico em Si
mais rico em Al e Fe	mais pobre em Al e Fe
pouca fixação de K e NH ₄	apreciável capacidade de fixar K e NH ₄
elevada capacidade de fixar P	pequena capacidade de fixar P
mais ácido	menos ácido
friável	pegajoso
mais grumoso em estado natural	estrutura menos grumosa
decompõe rapidamente a matéria orgânica	decompõe lentamente a matéria orgânica
raramente acumula húmus	pode acumular húmus em quantidade
possui microvida muito ativa	possui microvida pouco ativa
sofre facilmente erosão por chuvas torrenciais	raramente ocorre erosão pelas chuvas fracas
sofre superaquecimento	é muito frio
necessita proteção contra insolação direta	necessita ser aquecido
baixa capacidade de retenção de água	alta capacidade de retenção de água

A primeira idéia que vem à nossa mente é aquela já apresentada em publicações anteriores, de que se "transplantou o modelo das indústrias existentes nos países desenvolvidos, todos eles localizados em regiões temperadas. Este modelo, evidentemente, atende às condições de suas matérias-primas, climas e solos, não as nossas. Ou seja, importou-se um modelo estrangeiro sem uma reflexão mais detida sobre a sua aplicabilidade à realidade brasileira!" (Chaves e Oba, 2004, Oba *et al.*, 2000).

O saudoso Prof. Valarelli (Valarelli *et al.*, 1999) comentava que a produção de fertilizantes fosfatados no Brasil foi montada nos moldes das indústrias existentes em zonas temperadas, cujos processos e solos são distintos dos que ocorrem em climas tropicais e onde os minérios são diferentes (a origem sedimentar predomina para as mineralizações naturais, enquanto no Brasil a origem ígnea responde por mais de 90% das reservas e da produção), e aí estaria a origem de muitos dos problemas de perdas de fósforo nas várias etapas da sua utilização, desde a lavra até o beneficiamento e aplicação dos fertilizantes.

Desta situação advêm problemas econômicos como o desperdício de minério (apenas cerca de 8% do fósforo presente nos minérios é assimilado pelas plantas, segundo Rieder, 1986 e Fusaro *et al.*, 1987, ambos *apud* Barros, 1997) e ambientais como a eutrofização e poluição de corpos d'água e também a poluição de solos (por um lado, a perda de grande parte do fósforo nos fertilizantes causa o aumento desequilibrado de seus teores nas águas, eutrofizando-as; por outro lado, elementos nocivos em certos tipos de apati-

tas são também liberados no meio ambiente com a dissolução dos fertilizantes, causando aumento de seus teores tanto nos corpos d'água como nos solos).

O uso intensivo dos fertilizantes fosfatados, como ocorre no Brasil, e as características naturais dos minérios brasileiros obrigam a aplicação de processos complexos e caros para o beneficiamento da matéria-prima, além de causar impactos ao ambiente e de desprezar enormes quantidades de material com teores não suficientemente altos de P_2O_5 , mas que poderiam ser aproveitados por vias alternativas.

O objetivo desta colocação é provocar uma meditação mais detida acerca destas afirmações e refletir sobre a aplicabilidade de fertilizantes aos solos brasileiros, dentro duma perspectiva mais ampla que a mera produtividade agrícola imediata. Isto é feito tomando em consideração as colocações do Prof. Alfredo Scheid Lopes em parecer solicitado pela ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos a respeito de nossas considerações anteriores (Lopes, 2005).

Os argumentos colocados contra a utilização de fertilizantes de alta solubilidade no Brasil são principalmente os seguintes:

- a fabricação destes fertilizantes exige concentrados fosfáticos de teor elevado de P_2O_5 e de baixos teores de SiO_2 , Fe_2O_3 e Al_2O_3 . Isto marginaliza muitas jazidas e viabiliza apenas algumas, assim mesmo à custa de grandes perdas de mineral de fosfato durante o processo de concentração. Ou seja, grandes volumes das reservas estão destinados a serem rejeitos de beneficiamento ou então são considerados estéreis ou minérios marginais, não passíveis de aproveitamento.
- a sua fabricação implica na importação de enxofre ou ácido sulfúrico com evidente ônus para a balança comercial. O Brasil importa 90% do enxofre que usa, sendo 70% a parcela utilizada na fabricação de ácido sulfúrico para atender às indústrias de fertilizantes (Pini e Chaves, 2001).
- a fabricação de ácido fosfórico, principal insumo da fabricação de fertilizantes solúveis, tem elevado impacto ambiental devido à geração de 4,5 t de fosfogesso para cada tonelada de ácido fosfórico produzido. Este fosfogesso tem utilização apenas parcial, como corretivo de solos, e é acumulado junto às usinas, inutilizando enormes áreas de terreno que poderiam ter utilização mais proveitosa.
- a elevada solubilidade do fertilizante fosfatado faria com que a maior parte dele fosse solubilizada logo pela primeira chuva. Apenas pequena parte dele seria aproveitada pelos cultivares, a maior parte sendo arrastada pelas águas de superfície ou aprofundando-se no solo.
- o fosfato dissolvido e arrastado iria poluir os cursos d'água e o lençol freático. A poluição dos cursos d'água seria facilitada pela compactação dos solos tropicais. "Acredita-se mesmo que a agricultura seja hoje a atividade industrial mais agressiva às águas de superfície e subterrâneas no Brasil" (Oba et al., 2000, Sanchez e Uehara, 1980). O sinal mais evidente deste efeito seria a eutrofização e subsequente morte dos cursos d'água.
- nas condições prevalentes nos solos tropicais ocorreria rápida retrogradação dos fosfatos adicionados. Eles reagiriam com o ferro e alumínio dos solos, formando fosfatos pouco solúveis, inaproveitáveis pelas plantas. Ou então, retornariam à forma de apatita, também pouco solúvel.

Como conseqüência disto tudo, o aproveitamento pelas plantas do fósforo contido nos fertilizantes aplicados seria inferior a 15 %.

Os argumentos a favor consideram a eficiência agrônômica do fertilizante, ou seja, o comportamento dos cultivares, no curto prazo, imediatamente após a aplicação. Em experimentos agrônômicos controlados verifica-se que os fertilizantes fosfatados com alta solubilidade em água (SSP, TSP, MAP e DAP) e os termofosfatos, estes altamente solúveis em ácido cítrico, apresentam elevada eficiência agrônômica. Os fosfatos parcialmente acidulados e os fosfatos naturais de origem sedimentar apresentam média eficiência, ao passo que os fosfatos naturais brasileiros, de origem vulcânica, têm baixa eficiência agrônômica (Goedert e Sousa, 1984, citado em Lopes, 2005).

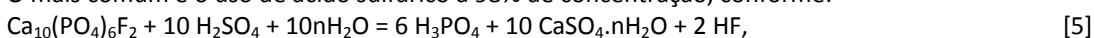
Outro estudo (Goedert *et al.*, 1991, citado em Lopes, 2005) mostrou que os superfosfatos simples e triplo, de alta solubilidade em água, se comportaram, para a média de quatro anos, num patamar semelhante aos termofosfatos fundido e calcinado.

A fixação do fósforo pelo solo, ou seja, a reação dos H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} não é um fenômeno totalmente irreversível e, grande parte do fósforo "fixado" pode, com o passar dos anos voltar a ser disponível para as plantas. Isto ocorre, principalmente, quando se adota a rotação de culturas e se escolhem espécies eficientes em extrair fósforo. Num experimento levado a cabo por Sousa e Lobato, 2004, durante 22 anos, com culturas anuais, a recuperação de fósforo foi de 44% e, quando foram introduzidas pastagens, de 85% (Lopes, 2005).

A poluição dos cursos d'água pelo escoamento superficial e erosão dos solos adubados decorreria, principalmente, do fosfato aderido às partículas de solo arrastadas para dentro do curso d'água. Isto seria fruto, basicamente de práticas agrícolas impróprias praticadas no passado. A preservação e manutenção da mata ciliar e de faixas de gramíneas ao longo dos cursos d'água e as boas práticas de conservação do solo seriam suficientes para minimizar este impacto (Lopes, 2005).

Obtenção de ácido fosfórico por processo químico

O ácido fosfórico é produzido mediante a reação de ácido sulfúrico, nítrico ou clorídrico e rocha fosfática. O mais comum é o uso de ácido sulfúrico a 98% de concentração, conforme:



onde $n = 0, 0,5$ ou 2 , conforme o número de moléculas de hidratação do sulfato de cálcio (fosfogesso).

Quando $n = 2$, o processo é chamado de di-hidrato, quando $n = 0,5$, de hemi-hidrato. Existe ainda um processo misto chamado de hemi-di-hidrato. A diferença entre eles está na operação de cristalização do gesso.

Reação e cristalização – A reação acima é provocada no reator. O sulfato de cálcio ou fosfogesso cristaliza-se e o ácido fosfórico permanece em solução.

Filtragem - a polpa contendo fosfogesso é filtrada para a remoção do ácido fosfórico contido. Num primeiro trecho do filtro retira-se a solução de ácido fosfórico na concentração em que foi produzida no reator. Num segundo trecho, a torta é lavada com água, para retirar o restante do ácido ainda retido entre as partículas de gesso. Esta solução é diluída e retorna ao reator.

O processo di-hidrato fornece um produto (ácido fosfórico) com cerca de 30% de P_2O_5 . O processo hemi-hidrato, com teor superior a 40%. As recuperações são respectivamente de 98% e 95% do P_2O_5 contido. O processo misto otimiza os resultados em termos tanto de teor como de recuperação. A torta da filtragem é o fosfogesso e é descarregada como rejeito.

Concentração - a solução de ácido fosfórico obtida no processo di-hidrato precisa ser concentrada, o que é feito por evaporação da água, aumentando o teor para cerca de 52% P_2O_5 . No processo di-hidrato, eventualmente esta etapa pode ser eliminada.

A Figura 3 esquematiza ao processo.

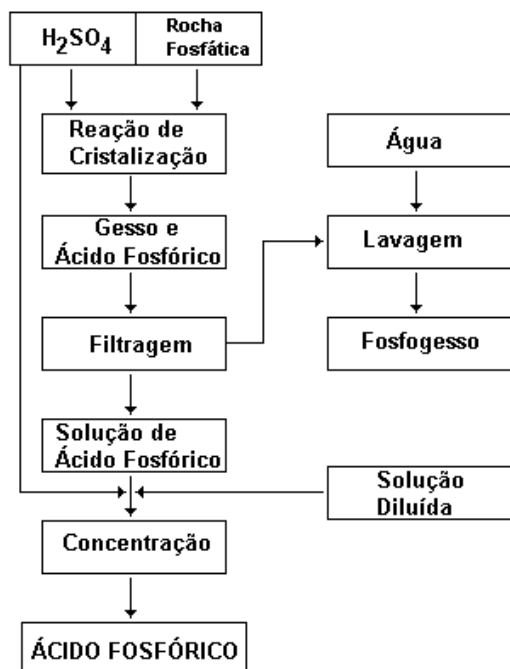
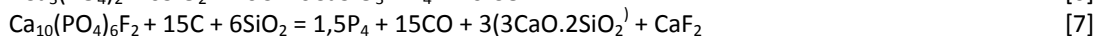


Figura 3 – Fabricação de ácido fosfórico via úmida.

Obtenção de ácido fosfórico por processo metalúrgico

O fósforo elementar pode ser obtido pela redução eletrotérmica em forno elétrico, pela redução da rocha fosfática (concentrado) na presença de um redutor e de escorificantes. A reação simplificada que representaria o processo é:



O redutor é coque ou antracito, de carbono fixo alto e baixo teor de materiais voláteis. O fósforo elementar volatiliza-se e sai com os outros gases (CO , CO_2 e H) e com a poeira arrastada. Um precipitador eletrostático é necessário para reter as partículas sólidas. Os gases são condensados na ausência de oxigênio e o fósforo elementar é recolhido, no estado líquido, em tanques de condensação.

Se o processo é feito na presença de ar, o fósforo se oxida a pentóxido de fósforo e em seguida é reagido com água para resultar o ácido fosfórico (Beraldo, 1986):



Os demais metais presentes no banho são também oxidados ou reduzidos, formando uma escória sobre-nadante e uma fase de ferro-fósforo fundido.

A Figura 4 esquetiza o processo.

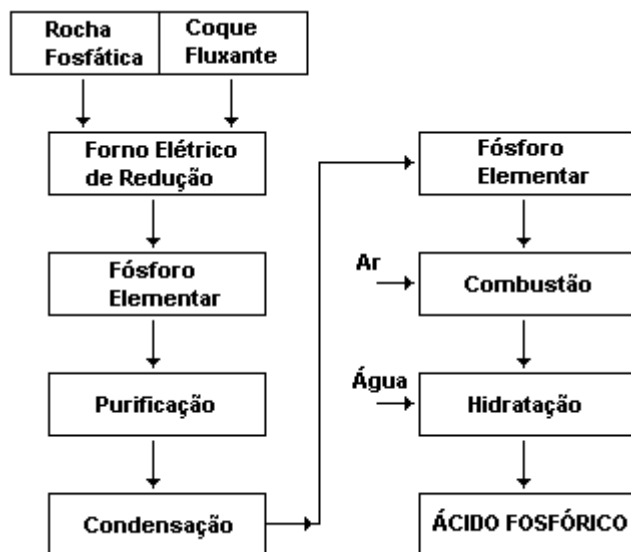


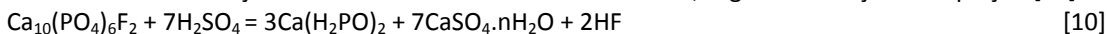
Figura 4 - Processo pirometalúrgico.

Fosfatos solúveis

Os fosfatos solúveis de baixa concentração – super simples (SSP), e o fosfato parcialmente acidulado (FPA) - são fabricados fazendo reagir o produto do beneficiamento, concentrado fosfático com o ácido sulfúrico, em longo tempo de duração (cura de produto). Os fosfatos ditos de alta concentração (mono-amônio fosfato, MAP, triamônio fosfato, TAP, o superfosfato triplo (TSP) e triplo simples, TSP) são feitos reagindo o mesmo concentrado fosfático com ácido fosfórico, para a obtenção de produto com alto conteúdo do fósforo.

Os fertilizantes solúveis ou superfosfatos são o superfosfato simples (SSP), o superfosfato triplo (TSP) e o fosfato parcialmente acidulado (FPA).

O SSP é obtido da reação da rocha fosfática com ácido sulfúrico, segundo a reação da Equação [10].



Ela é feita em misturadores onde o ácido é adicionado à rocha fosfática, moída entre 100 e 150# Tyler (149 e 100 μm). A reação é lenta e, uma vez completada, o produto vai curando lentamente. Ele pode ser vendido então na granulometria em que está (SSP granulado) ou após moagem (SSP em pó). A Figura 5 esquematiza este processo.

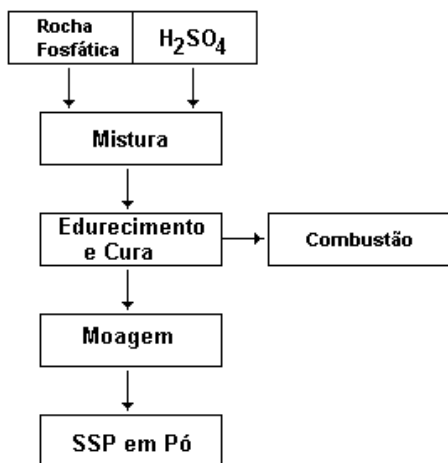
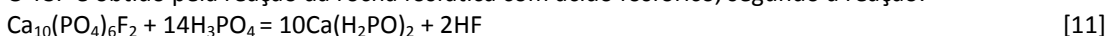


Figura 5 – Fabricação de SSP.

O SSP deve ter 18 % mínimo de P_2O_5 solúvel em solução neutra de citrato de amônio, mínimo de 16% solúvel em água e conter 18 a 20% de Ca e 10 a 12% de S.

O TSP é obtido pela reação da rocha fosfática com ácido fosfórico, segundo a reação:

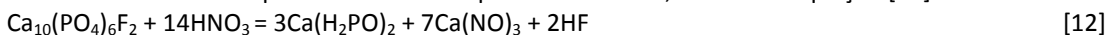


O processo de fabricação é semelhante ao anterior e o produto é vendido nas mesmas formas.

O TSP deve ter 41% mínimo de P_2O_5 solúvel em solução neutra de citrato de amônio, mínimo de 37% solúvel em água e conter 12 a 14% de Ca.

O FPA segue o mesmo processo de fabricação que o SSP, empregando, porém, metade do ácido sulfúrico consumido no processo do SSP, para a mesma quantidade de rocha. O FPA deve ter 20% mínimo de P_2O_5 total, com um mínimo de 9% solúvel em solução de ácido cítrico e conter 25 a 27% de Ca, 0 a 6% de S e 0 a 2% de Mg.

Nos nitrofosfatos o ataque da rocha é feito pelo ácido nítrico, conforme equação [12].



O nitrato de cálcio é um sal higroscópico, que precisa ser eliminado, o que pode ser feito de diferentes maneiras. Na Figura 6 está esquematizado um fluxograma onde esta remoção é feita por cristalização e filtração.

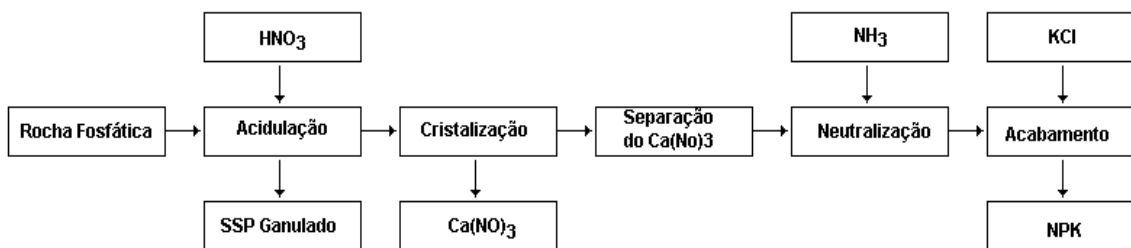


Figura 6 – Fabricação de nitrofosfato.

O produto deve ter 14% N mínimo, 18% mínimo de P_2O_5 solúvel em solução neutra de citrato de amônio, mínimo de 16% solúvel em água e conter 8 a 10% de Ca.

Fertilizantes alternativos

O fertilizante alternativo mais imediato seria a rocha fosfática finamente pulverizada ou, correspondentemente, a adição de ossos moídos, cascas de ovo e outros aditivos naturais. Esta prática é entusiasticamente apoiada pelos partidários da agricultura orgânica, mas o seu efeito fertilizante é considerado pelos partidários da adubação intensiva, muito restrito. O estudo já referido de Goedert e Sousa, 1984, mostrou que apenas os fosfatos de origem sedimentar podem ser utilizados. Isto se explica por serem eles compostos do mineral colofanita, variedade amorfa ou mal cristalizada do fosfato de cálcio. As apatitas, minerais presentes nos fosfatos de origem magmática, são muito bem cristalizadas e por isto resistentes à solubilização, exceto por ácidos muito enérgicos como o sulfúrico, que não ocorrem nos solos.

Os termofosfatos são produtos obtidos através do tratamento térmico de rochas fosfatadas, com ou sem adição de outros materiais (Pini e Chaves, 2001). Ocorre uma transformação física que destrói a estrutura cristalina da apatita, permitindo a sua solubilização pelos ácidos húmicos. A sua fabricação não demanda insumos importados como o enxofre.

Como, adicionalmente, os termofosfatos têm caráter alcalino, auxiliam na correção da acidez do solo. A Tabela 2 mostra a economia de calcário dolomítico decorrente do uso de termofosfatos em solos ácidos.

Tabela 2 - Efeito da correção parcial de acidez do solo

Fertilizantes	Equivalente em CaCO ₃	Fertilizantes	Equivalente em CaCO ₃
Superfosfatos	zero	MAP	-650
Hiperfosfatos	+100	DAP	-700
Termofosfatos	+500	-	-

Fonte: Serrana.com.br/informes.htm, referido em Pini e Chaves, 2001.

O significado do equivalente em CaCO₃ é a quantidade de calcário necessária para neutralizar a adição de 1,0 t de cada fertilizante: para neutralizar 1 t de MAP são necessários 650 kg de calcário (além do calcário necessário para corrigir a acidez do solo). Já a adição de 1 t de termofosfato implica na economia de 500 kg de calcário dolomítico nesta correção.

Os termofosfatos utilizam fornos metalúrgicos para quebrar a estrutura cristalina da apatita e tornar o fosfato nela contido solúvel e acessível à planta. A principal característica destes produtos é que o fosfato está insolúvel em água, embora disponível aos vegetais (solúvel em ácido cítrico). Tratam-se de fertilizantes de liberação lenta e têm caráter alcalino, no máximo neutro, sendo por isto recomendados para solos ácidos (Ibrafos, 1991).

Cekinski et al. (1986) comentam que estas características podem constituir vantagem para solos ácidos e clima tropical, como é o caso brasileiro. Entretanto, para climas temperados e solos alcalinos - como é a predominância das regiões de primeiro mundo, a resposta é menos satisfatória, o que causou o seu insucesso comercial nessas regiões.

Três são os processos principais de fabricação e os produtos correspondentes: termofosfato magnesiano fundido, fosfato Rhenânia e fosfato desfluorizado.

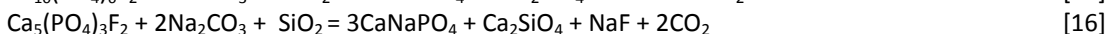
O termofosfato fundido é preparado num forno elétrico de redução, gera uma pequena quantidade de ferro-fósforo e a escória metalúrgica, que é o termofosfato. A formulação desejada é obtida a partir da composição química do minério fosfático e duma fonte de magnésio além dos escorificantes usuais. A estrutura cristalina da apatita é destruída e o silicato de magnésio gerado interfere no processo de recristalização. O vazamento do ferro-fósforo é feito separadamente do termofosfato. Este é lançado em água fria (*quenching*) para impedir a recristalização da apatita e fraturá-lo. A seguir o termofosfato é desaguado, secado, moído e ensacado. O produto desejado deve ter 17% P₂O₅ mínimo e 14% solúvel em ácido cítrico, 7% Mg mínimo e 18 a 20% Ca.

O termofosfato desfluorizado é obtido por calcinação (em fornos de calcinação) acima de 1.200°C em presença de sílica e vapor d'água. As reações mostradas abaixo (Beraldo, 1986, Ibrafos, 1991) geram uma solução sólida de fosfato tricálcico e silicato de cálcio:



O produto desejado deve ter 21% P₂O₅ mínimo e 20% solúvel em ácido cítrico e 0,1% Mg máximo. Um pequeno teor de flúor é essencial para sua utilização como complemento de ração animal.

O fosfato Rhenânia é obtido pela calcinação duma mistura de rocha fosfática, barrilha e sílica. O processo ocorre segundo as reações descritas pelas Equações 15 e 16 (Beraldo, 1986).



O produto desejado deve ter 28 a 30% P₂O₅ total, todo ele solúvel em ácido cítrico.

A título de curiosidade, o IPT desenvolveu, em 1973, um processo de obtenção de termofosfato em máquina de sínter, potencialmente mais barato. Infelizmente, as pesquisas não foram continuadas.

Nos termofosfatos fundidos, o principal constituinte é o fosfato tricálcico. Eles são fabricados pelo contacto do leito de fusão com vapor d'água ou por resfriamento rápido em água (*quenching*), o que acarreta a desfluorização da fluorapatita e a sua solidificação numa estrutura vítrea, não mais cristalina e por isto, acessível ao ataque ácido.

O termofosfato magnesiano fundido é obtido pela fusão de misturas de rochas fosfáticas e silicatos de magnésio (como o talco) a temperaturas da ordem de 1500°C.

O termofosfato Rhenânia e os outros termofosfatos calcinados são obtidos pela calcinação de rochas fosfáticas misturadas a barrilha e a sílica. O fosfato solúvel formado é a renanita, CaNaPO₄. No Japão e Inglaterra, a adição de ácido fosfórico e sais de sódio à rocha fosfatada e subsequente calcinação gera uma mistura de fosfato tricálcico e renanita.

O processo Humifert (Oba, 2000, Oba *et al.*, 2000, Sternicha, 1988) é um processo alternativo de produção de fertilizante organo-fosfatado: baseia-se no ataque de fosfatos naturais brutos, minérios marginais ou fosfatos secundários não utilizáveis pela tecnologia do ácido fosfórico) pelo ácido nítrico e na utilização do nitrogênio do ar como fonte primária do reagente ácido. Produzem-se óxidos nítricos que, em contacto com a umidade da mistura fosfato+materia orgânica, transformam-se em ácido nítrico nascente na própria superfície das partículas de fosfato. Este fertilizante nitro-fosfatado é fixado sobre matérias orgânicas como turfas, bagaços, palhas etc.

O reator transforma o nitrogênio do ar em ácido nítrico em contacto com a umidade da mistura. O ácido nítrico ataca a apatita e também a matéria orgânica, gerando ácidos húmicos. Estes ácidos atuam no sentido de auxiliar a solubilização da apatita, de modo que a quantidade de ácido para dissolver o P₂O₅ do mineral é inferior à estequiometricamente necessária.

O produto da reação é um fertilizante fosfatado que aporta também nitratos e matérias orgânicas pré-humificadas. Ensaio agrônomico em casa verde mostraram uma assimilação maior que aquelas indicadas pelas análises em ácido cítrico a 2%.

Sua importância reside na possibilidade de diminuição dos custos através do aproveitamento de materiais fosfáticos marginais ou rejeitos de beneficiamento e nos benefícios ambientais decorrentes da diminuição da produção de rejeitos nas minas e também do aproveitamento de rejeitos orgânicos.

Especificações desejadas para a rocha

Evidentemente, os processos químicos descritos acima exigem matéria-prima com especificações bem definidas em termos de teor de fosfato e de impurezas prejudiciais a eles. Estes valores variam conforme o processo e o projeto da usina. É preciso lembrar que muitas usinas usam a mesma instalação para produzir SSP e TSP, alternando entre uma rota e outra. Passamos a examinar estas especificações (Albuquerque, 1996).

TEOR DE P_2O_5

Quanto maior este teor, mais lucrativo será o processamento. Geralmente, é exigido o teor mínimo de 32%, tanto para TSP como para SSP, mas ele varia, dependendo do teor dos elementos nocivos, sendo aceitos, em determinados casos, valores de até 28%. É preciso distinguir o P_2O_5 contido na apatita daquele contido em fosfatos secundários (crandallita, gorceixita, por exemplo), que não é recuperado no processo. Para FPA pode-se tolerar rocha com teores mais baixos.

TEOR DE $CaCO_3$

Os carbonatos reagem com os ácidos, aumentando o seu consumo. Por isto, para a fabricação de ácido fosfórico, procura-se manter a relação $P_2O_5/CaCO_3$ entre 1,3 e 1,5, podendo-se entretanto aceitar até 1,7, porém à custa do consumo elevado de ácido.

MgO E R_2O_3

R_2O_3 (Fe_2O_3 e Al_2O_3) e MgO, além de diluírem o minério, formam complexos com o ácido fosfórico. Estes produtos consomem o ácido fosfórico, diminuindo o rendimento do processo (para cada 1% de R_2O_3 há uma perda de 2% de P_2O_5) e aumentam a viscosidade do produto, fazendo com que impurezas sólidas sejam retidas. Além disso, esses precipitam muito lentamente, o que vai acabar acontecendo nos tanques de armazenamento ou nos veículos de transporte.

Geralmente limita-se a relação R_2O_3/P_2O_5 a 0,1% e o MgO a 1%.

Para a produção de FPA pode-se tolerar R_2O_3/P_2O_5 até 0,2%.

É importante salientar esta limitação no teor de R_2O_3 para a química dos fosfatos solúveis. Isto limita a capacidade de certas rochas atenderem a esta exigência e eventualmente, porções significativas duma jazida, mesmo tendo teores de P_2O_5 aceitáveis, passam a ser consideradas minérios marginais. O saudoso Dr. Gildo A.S.C. Albuquerque (Albuquerque, 1996) apresenta a Figura 5, que relaciona a perda de recursos nas jazidas brasileiras em função deste parâmetro. Note-se que para 3% R_2O_3 , a perda é de 50%.

Evidentemente, os fosfatos de alta concentração exigem matéria-prima (concentrados fosfáticos) com especificações bem definidas e mais elevadas em termos de teor de fósforo e de reduzido conteúdo de impurezas prejudiciais à especificação dessas matérias-primas. Estes valores variam conforme o processo e o projeto da usina.

Já para os termofosfatos, gerados em processo metalúrgico, as especificações da rocha fosfática são mais frouxas, especialmente no que se refere ao R_2O_3 . O fluxante deve ser uma fonte de magnésio. O fosfato Rhenânia aceita um leito com teor de sílica mais elevado.

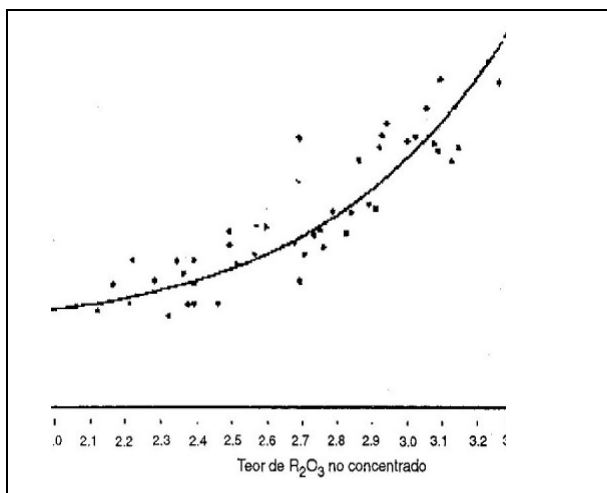


Figura 7 - Perdas decorrentes do teor de R_2O_3 .

Matéria orgânica

A matéria orgânica no processo causa problemas de formação de espuma no reator, com perdas de P_2O_5 . Eventualmente é necessário calcinar a rocha que tenha estes materiais.

Natureza da apatita

A flúorapatita é $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$, mas, como mencionado, o flúor pode ser substituído por hidroxila (hidróxia-apatita) ou por cloro (cloroapatita), o Ca, parcialmente por Mg, Na, Mn ou outros e é relativamente frequente a presença de U_3O_8 na rede cristalina da apatita.

Tudo isto se constitui em problemas. O flúor vai formar ácido fluorídrico, o cloro, ácido clorídrico, que atacam tanques e tubulações. No caso da fluorapatita, a presença de sílica diminui a extensão do problema, pois a sílica reage com o ácido fluorídrico.

Processo metalúrgico

A especificação da rocha para a fabricação de fósforo elementar ou ácido fosfórico via eletrometalúrgica, e também dos termofosfatos, é muito mais flexível, pois os processos metalúrgicos são muito mais robustos que os químicos em termos de qualidade da matéria-prima. Isto porque, dentro do forno de redução, ocorre a fusão das matérias-primas, a redução dos metais e a escorificação dos óxidos (daí a necessidade dos fluxantes, que são as substâncias adicionadas com o propósito de formar a escória adequada). Os óxidos de ferro vão ser reduzidos e produzir uma liga ferro-fósforo que entretanto não é uma perda de processo, pois o ferro-liga tem valor comercial e será utilizado na fabricação de aços de usinagem fácil.

Da mesma forma, o cálcio e o magnésio presentes são escorificados mediante a correta dosagem de sílica, a sílica e a alumina são escorificadas mediante a correta dosagem de calcário.

Conclusão

O modelo de fertilização implantado no Brasil é questionado por muitos do ponto de vista agrônomo, função de serem fertilizantes de alta solubilidade que poderiam ser levados pelas águas das chuvas torrenciais em prejuízo da sua assimilação pelas plantas, constituindo-se ademais num foco de poluição dos cursos d'água. Existem argumentos de peso contrários a esta afirmação.

Do ponto de vista de demanda de matérias-primas minerais, exige concentrados de rocha fosfática de elevado teor de P_2O_5 e sérias limitações quanto às impurezas e contaminantes presentes.

A pesquisa e o desenvolvimento de fontes alternativas de fertilizantes fosfatados para atender as demandas crescentes da agricultura brasileira desperta imenso interesse. Isto não só pela possibilidade de fornecer alternativas ao modelo vigente, como também pela possibilidade de aproveitar quantidades enormes de minérios marginais (pobres ou contaminados), inacessíveis pela tecnologia atual.

É uma linha de pesquisa que merece todo o apoio dada a sua importância industrial, de conservação de recursos minerais e de minimização do impacto ambiental.

Referências bibliográficas

- ALBUQUERQUE, G.A.S.C. A produção de fosfato no Brasil: uma apreciação histórica das condicionantes envolvidas. Rio de Janeiro, Cetem. Série Estudos e Documentos n. 31, 1996.
- BARROS, L. A. F. Flotação da apatita da jazida de Tapira, MG. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 106p, 1997.
- BERALDO, J.L. Concentração de fosfato. Curso ministrado para a Petrobrás, 1986. xerox.
- CEKINSNI, E.; PEREIRA, S.C.C.; GUARDANI, R.; GIULIETTI, M. Aspectos gerais da produção de termofosfatos. ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, II. Anais. São Paulo, Ibrafos
- CHAVES, A.P.; OBA, C.A.I.; Críticas ao modelo brasileiro de fertilizantes fosfatados de alta solubilidade. Rio de Janeiro, CETEM, Série Estudos e Documentos, nº. 63, 2004.
- CHESNIN, L. Cálcio, magnésio, enxofre e os micronutrientes. *In*: Manual de fertilizantes, São Paulo, IPT / Cefer, 1980, p.73-94.
- ESTEBAN, F.S.; SINTONI, A. Desenvolvimento de tecnologia na concentração de rocha fosfática de baixo teor de P₂O₅, Encontro Nacional de Rocha Fosfática, 1 - Anais. Brasília, Ibrafos, 1979.
- GOEDERT, W.J.; REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G. de. Avaliação agrônômica de fontes de fósforo para a região dos cerrados. *In*: Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, Embrapa-CPAC, 1991, p. 155-89.
- GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. de. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. *In*: ESPINOSA, W; OLIVEIRA, A.J. de (Ed.) Anais do simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira. Brasília, Embrapa-DEP, 1984, p. 68-75.
- IBRAFOS. A indústria de fertilizantes fosfatados no Brasil. São Paulo, Ibrafos, 1991.
- KLEIN, C.; HURLBURT, C.S. Manual of Mineralogy. J.Wiley, N. York, 1977, p.434
- LACOMBE, L.A.; DEQUECH, R. Produção de cloreto de potássio a partir de concentrados silicatados da região de Quartel de S. João - MG. Brasil Mineral, n. 287 (ago. 2009), p. 136-141.
- LOPES, A.S. Parecer técnico agrônômico sobre o trabalho: "Críticas ao modelo brasileiro de fertilizantes fosfatados de alta solubilidade de autoria de Arthur Pinto Chaves e Carlos Ikeda Oba", CETEM, série Estudos e Documentos, nº 63, 25p., 2004. Parecer fornecido à ANDA, 2005.
- MENDES, C.M.; OLIVEIRA, L.T.; SILVEIRA, R.C. Perspectivas de produção de fósforo elementar, ácido fosfórico alta pureza e termofosfato magnesiano fundido. Encontro Nacional de Rocha Fosfática, III, Anais. 1986.
- OBA, C.A.I.; LACOUT, J.L.; CHAVES, A.P. Novo fertilizante organo-fosfatado viabiliza materiais fosfatados marginais. Brasil Mineral, n. 183 (maio 2000), p. 60-4.
- OBA, C.A.I. Aproveitamento de materiais fosfáticos marginais para a produção de fertilizantes organo-fosfatados. São Paulo, EPUSP, Tese de Doutorado, 2000.
- PINI, R.A.; Fabricação de termofosfato utilizando fosfogesso. São Paulo, EPUSP, Tese de Doutorado, 2001.

- PINI, R.A.; CHAVES, A.P. Fabricação de termofosfato utilizando fosfogesso. São Paulo, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI,151, 2001.
- SANCHEZ, P.A.; UEHARA, G. - Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. The role of phosphorus in agriculture, Madison, American Society of Agronomy. p.471-514, 1980.
- SLACK, A.V. Os produtos fertilizantes. *In*: Manual de fertilizantes, São Paulo, IPT / CEFER, 1980, p. 53-73.
- SOUSA, D.M.G., REIN, T.A., LOBATO, E. & SOARES, W.V. - Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na região dos cerrados. *In*: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo. Embrapa/UnB/SBCS. p.27, 1999.
- STERNICHA, F. Matière organique accroissant la proportion de phosphore assimilable dans les engrais chimiques classiques et dans les phosphates naturels. Brevet no. 13177, 1988.
- VALARELLI, J.V., FIGUEIRA, J.L.G., HYPOLITO, R., BAILLIF, P., TOURAY, J.C. & SCHULTZ-GUTTLER, R.A. - 1999 - Estudo experimental da fixação do fósforo em minerais de solo. Acad. Bras. de Ciências, 71(4-1):729-742.

ROCHAS, MINERAIS E ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES ALTERNATIVOS

ADÃO BENVINDO DA LUZ¹; FRANCISCO E. LAPIDO-LOUREIRO²; JOÃO ALVES SAMPAIO³; ZULEICA CARMEN CASTILHOS⁴ E MARCELO SOARES BEZERRA⁵

Introdução

Recorrer à biomassa, em grande escala, como fonte de energia, é um caminho irreversível, com grandes vantagens ambientais e sócio-econômicas. Por outro lado, pode trazer problemas tais como o uso inadequado do solo com cultivos de baixo rendimento energético e a ocupação de espaços agrícolas, em detrimento da produção de alimentos.

Os biocombustíveis poderão transformar-se numa fonte moderna de energia, se for produzida com base em cultivos que ofereçam rendimento energético satisfatório, como é o caso da cana-de-açúcar, e melhorados/otimizados os processos de conversão. Refira-se que, nesse sentido, a FAO organizou uma *Plataforma Internacional de Bioenergia - IBEP*, com a finalidade de oferecer um instrumento que facilite a transição para um futuro de energia sustentável (FAO, 2007).

Atualmente, a energia proveniente da biomassa contribui com cerca de 10%, no fornecimento total da energia primária em todo o mundo, todavia, nos países em desenvolvimento é da ordem de 22%. Na Índia, esse índice é 37% e na África 49% (UN- Energy).

No Brasil, metade das propriedades agrícolas tem menos de 10 ha, 90% menos de 100 ha e mais de 60% das organizações agropecuárias não empregam qualquer tipo de fertilizante. Por outro lado, mais de 50% dos fertilizantes consumidos no País são importados, ressaltando-se que a importação de potássio atinge cerca de 90%. Por último, porém não menos importante, é preciso considerar que a agroindústria, nos moldes atuais, é responsável por cerca de 30% das emissões de gases de efeito estufa.

No caso das duas principais fontes de biomassa, cana-de-açúcar e oleaginosas, a produtividade e o rendimento dependem, entre outros fatores, dos fertilizantes e do adequado balanceamento dos nutrientes necessários ao bom desenvolvimento dos cultivos.

A FAO e o IFA (2002) indicam, para a cana-de-açúcar, os valores de extração dos macronutrientes principais, em função do rendimento (kg/ha), reproduzidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Consumo (kg/ha) de nutrientes no cultivo da cana-de-açúcar em função da produtividade (t/ha).

Produtividade (t/ha)	Nutrientes (kg/ha)		
	Nitrogênio	P ₂ O ₅	K ₂ O
Cana-de-açúcar			
50	60	50	22
100	110	90	39
(N.A) ^(a)	143	43	209
Alta Colheita ^(b)	130	90	340

Notas: (a) VITTI, 2006; (b) IPI, 1994

¹ Engenheiro de Minas D.Sc. (USP). Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT). E-mail: adaobluz@cetem.gov.br

² Geólogo D.Sc. Universidade de Lisboa (UL). Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT) E-mail: flapido@cetem.gov.br

³ Engenheiro de Minas D.Sc. (UFRJ). Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT). E-mail: jsampaio@cetem.gov.br

⁴ Geoquímica Ambiental D.Sc. (UFF). Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT). E-mail: zcastilhos@cetem.gov.br

⁵ Engenheiro de Minas (UFPE). Consultor. E-mail: marcelosbezerra@yahoo.com.br

Para evitar o empobrecimento do solo agrícola, haverá necessidade de repô-los. Cabe lembrar que, o aumento da fertilidade do solo não consiste apenas na simples aplicação de fertilizante. É necessário corrigir a sua acidez que, se excessiva, restringe a absorção dos nutrientes pelas plantas. Para este problema, a melhor solução é a calagem do solo.

Rochagem (*rock for crops*) é um termo que deriva de rocha e significa a aplicação direta, na agricultura, de rochas moídas ou contendo finos naturais, como material fertilizante de aplicação direta. É um processo de fertilização do solo, também designado por petrofertilização.

A prática da rochagem inspirou-se na técnica de calagem de solos – aplicação direta de calcário para redução da acidez dos solos - ou na técnica de gessagem, aplicação de gesso no solo, cada vez mais usado na agricultura, como fonte de S e Ca.

Misturas de adubos de origem animal com rocha moída foram os primeiros fertilizantes usados na agricultura. Esses materiais contêm elementos essenciais para o equilíbrio nutricional das plantas. O plantio direto e a rochagem, como fonte de macro e micronutrientes, inclusive a agricultura orgânica, como fonte de nitrogênio e de outros nutrientes, possuem importância socioeconômica na produção sustentável de alimentos, principalmente na agricultura familiar e/ou de pequenas propriedades e na agricultura de qualidade.

Ainda, a globalização da economia, associada ao agronegócio, leva a uma obsessiva política de aumento constante da produtividade na agricultura, apoiada nos fertilizantes, defensivos agrícolas e nos organismos geneticamente modificados (OGMs), com a consequente diminuição do conteúdo de matéria orgânica nos solos. Assim, os avanços tecnológicos impulsionaram o emprego da rochagem como fonte de nutrientes alternativos (Lapido e Nascimento, 2009a).

A composição química e mineralógica é fator determinante para seleção do material mais adequado à rochagem. As rochas ígneas, por exemplo, apresentam diferenças sensíveis, como pode observar-se na Figura 1 e Tabela 2.

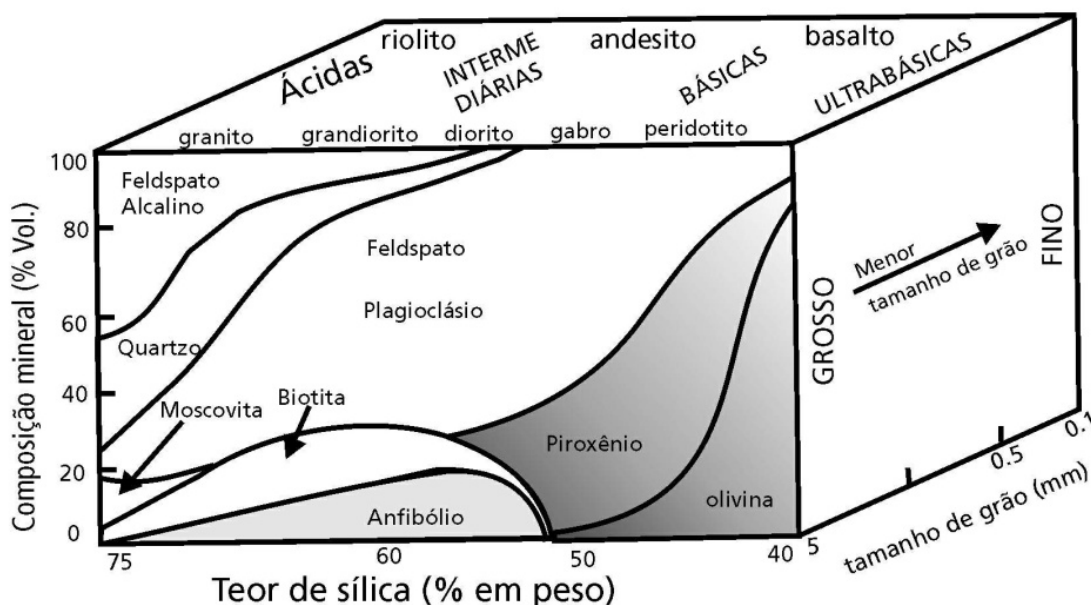


Figura 1 - Classificação de rochas com ênfase no índice de cor, composição mineralógica e granulometria (Adaptado de Thorp & Brown, 1982).

Tabela 2 – Exemplos de composições médias de rochas ígneas.

Óxido	Granito	Andesito ^(a)	Basalto	Fonolito ^(a)	Saprolito ^(b)
SiO ₂	72,08	54,20	50,83	56,08	51,85
TiO ₂	0,37	1,31	2,03	0,47	0,56
Al ₂ O ₃	13,86	17,17	14,07	22,71	27,72
Fe ₂ O ₃	0,86	3,48	2,88	2,73 ^(c)	2,21 ^(c)
FeO	1,67	5,49	9,05	-	-
MnO	0,06	0,15	0,18	0,01	0,03
MgO	0,52	4,36	6,34	0,04	0,08
CaO	1,33	7,92	10,42	0,05	0,01
Na ₂ O	3,08	3,67	2,23	0,60	0,23
K ₂ O	5,46	1,11	0,82	13,27	9,35
P ₂ O ₅	0,18	0,28	0,23	0,19	6,28
H ₂ O	0,53	0,86	0,91	-	-

Notas ^(a) Poços de Caldas – médias de 53 análises; ^(b) Idem – 3 análises; ^(c) Fe total.

Fonte: Projeto Internacional: Brasil, Suécia, Suíça, Inglaterra.

A rochagem pode contribuir para a redução no consumo de fertilizantes industriais, que requerem quantidade elevada de energia para sua fabricação e, simultaneamente, ser um agente propulsor de produtividade e qualidade de muitos cultivares, incluindo os de cana-de-açúcar e oleaginosas, principalmente no âmbito do pequeno e médio agricultor.

Objetivo

Identificar e localizar geograficamente, no Brasil, rochas e minerais alternativos como fontes de macronutrientes (K, P, Ca, Mg, S) e, eventualmente, de outros elementos (micronutrientes), para uso na produção agrícola de cana-de-açúcar e oleaginosa, com vistas à produção nacional de biocombustíveis líquidos.

Serão discutidas também sugestões para rotas tecnológicas alternativas com foco no seu aproveitamento.

Os efeitos das discussões e resultados validados neste trabalho serão úteis em um sistema de informação, elaborado pela CPRM, capaz de gerar ações temáticas sobre minerais, rochas, rejeitos, dentre outros, como fontes de fertilizantes alternativos no Brasil.

Fontes de fertilizantes alternativos

À exceção do nitrogênio, todos os nutrientes necessários ao bom desenvolvimento das plantas são de origem mineral. Mesmo a agricultura orgânica ou biológica necessita de aditivos minerais, principalmente P e K. Entretanto, nas condições normais de clima, a desagregação natural e a alteração química não são capazes de disponibilizar os nutrientes das rochas ou minerais, para o crescimento das plantas, em compasso com os índices de produtividade exigidos pelo agronegócio. Assim, continua em ação o desenvolvimento de diversos estudos, com o propósito de modificar os minerais e rochas, tornando-os aproveitáveis como fertilizantes alternativos.

Há uma grande variedade de rochas susceptíveis de aplicação na remineralização de solos. Straaten (2007), citando Levinson (1974), apresenta os grupos de rochas com potencial elevado de concentração, não só de micronutrientes benéficos, mas também prejudiciais aos cultivares (Quadro 1).

No Quadro 2 estão relacionados alguns tipos de rochas e minerais como fontes de macronutrientes principais e secundários associados às suas respectivas fontes.

Quadro 1 – Exemplos de micronutrientes e contaminantes em alguns tipos de rocha.

Tipo de Rocha	Micronutrientes
Rochas ígneas ultramáficas	Cr, Co, Ni, Fe, Mn
Basaltos (rocha máfica)	Cu, Zn, Mn, Fe, Co, Ni, V
Granitos (rocha félsica)	Ba, Li, W, Rb, Mo, Cu, Zn, Cl, Si
Carbonatitos (*)	ETR, F, Nb
Xisto vermelho / arenito	U, V, Se, As, Mo, Pb, Cu
Xisto negro	Cu, Pb, Zn, Cd, U, Au, Se, Ni, Mo, V, Fe, B, etc

Notas: (*) >50% de carbonatos; ETR-elementos de terras raras.

Fonte - Levinson, 1974.

Quadro 2 – Alguns tipos de rochas e minerais como fonte de macronutrientes principais e secundários.

Rochas e minerais	Macronutrientes
Rochas ultrabásicas alcalinas leucíticas	K, Mg, Ca, etc
Basalto/Gabro	Mg, Ca, etc
Carbonatito	Ca, Mg, P, K ^(a)
Kimberlito	K, Mg, etc.
Rochas silicáticas alcalinas (sienitos e nefelina sienitos ^(b))	K e outros
Rochas ácidas (granitos e gnaisses)	K e outros
Gipsita e rejeitos industriais (principalmente fosfogesso)	S, Ca
Calcários (calcíticos e dolomíticos)	Ca, Mg

A rochagem, no sentido amplo do termo, pode traduzir as seguintes funções (Quadro 3):

- I. calagem,
- II. calagem associada à fertilização,
- III. fertilização (remineralização) em conjunção ou não, com produtos orgânicos naturais e
- IV. condicionamento de solos, que tem por função promover a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo).

Quadro 3 – Rochas, minerais e materiais diversos para rochagem.

Função	Tipo de Material	Nutrientes
Remineralização (Calagem e Nutrição)	Calcários calcíticos	Ca
	Calcários dolomíticos	Ca–Mg
	Carbonatitos (geoquímica e mineralogia muito variáveis)	Ca, Mg, K etc
	Gesso (CaSO ₄) natural e industrial	Ca, S
Remineralização e condiciona- mento do solo	Gessos natural e industrial	S, Ca
	Rochas fosfáticas	P, Ca
	Carbonatitos	Ca, Mg, K etc.
	Rochas silicáticas vulcânicas: basalto, ugandito, fonolitos, traquitos etc	Mg, Ca, Si, Fe etc
	Rochas silicáticas granulares: granitos, sienitos, nefelina sienitos, arenitos etc	K e outros
	Minerais: feldspatos, argilominerais, piroxênios, anfibólios, vermiculita, biotita, zeólitas e outros	K e outros
	Rejeitos e resíduos de minas, de minerais não metálicos e de pedreiras	Variados

Um dos caminhos que poderia solucionar a carência de potássio fertilizante, no Brasil, seria produzi-lo à base de rochas ricas de feldspatos, o mineral mais abundante na natureza (o ortoclásio contém até 17% de K_2O), ou de feldspatóides (leucita: 22% de K_2O), por processos térmicos ou sob a forma de aplicação direta associada ou não à biolixiviação.

Os estados de Minas Gerais e Goiás são regiões com grande potencial para materiais fertilizantes alternativos como, por exemplo:

- as numerosas ocorrências de formações glauconíticas, dentre as quais se destaca o glauconito ("verdete") da Serra da Saudade (MG).
- as rochas ultrabásicas clásticas leucíticas (uganditos).
- os minérios pobres e outros materiais rejeitados das minas de fosfatos.
- os tufos e rochas vulcanoclásticas da formação Mata da Corda.
- os fonolitos e a "rocha feldspática" do complexo alcalino de Poços de Caldas.
- os kimberlitos.
- os arcósios (arenitos feldspáticos) da formação Três Marias do Grupo Bambuí, e muito provavelmente outros.

ROCHAS E MINERAIS ALTERNATIVOS PARA AGRICULTURA DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Apesar de ser uma prática bastante antiga no Japão e Europa, só recentemente no Brasil intensificou-se o uso de rocha moída para a remineralização e manutenção da fertilidade do solo.

A Embrapa Cerrados e a Universidade de Brasília-UnB desenvolveram estudos de caracterização tecnológica de algumas rochas, objetivando a aplicação da rocha moída, como fonte de K para fins agrícolas. Foram estudados alguns tipos de rochas:

- biotita xisto e flogopitito, rejeitos de mineração de esmeralda de Nova Era e Itabira-MG e Campo Formoso, BA, respectivamente.
- brecha vulcânica alcalina (feldspatóide, zeólitas e vidro vulcânico), de Rio Verde, GO.
- carbonatito (flogopita e minerais ferro-magnesianos), da região de Catalão, GO; e ultramáficas alcalinas, rocha constituída de minerais ferromagnesianos (olivina, proxênio, plagioclásios e flogopita), de Lages-SC. (Martins *et al.*, 2008).

Segundo estes autores, estudos em casa de vegetação usando as rochas apenas moídas - brecha vulcânica alcalina, biotita-flogopita xisto e ultramáfica alcalina, como fontes de K para soja e milho, mostraram resultados promissores.

Xisto betuminoso explotado pela Petrobrás para extração de petróleo, na Formação Irati, que se prolonga desde Santa Catarina até o sul de Goiás, tem como subproduto um resíduo de excelente qualidade para ser usado como fertilizante (CANAL – Jornal de Bioenergia).

Há tempo, estudam-se estas rochas para usá-las como fertilizantes alternativos de baixo custo, com a vantagem de serem portadoras de diversos macro e micro nutrientes. Sua desvantagem é a lenta liberação dos nutrientes. As pesquisas procuram entender e desenvolver os processos químicos e biológicos que se processam no ciclo dos nutrientes, até as raízes das plantas.

Há diversas experiências bem sucedidas de aplicação de minerais alternativos na agricultura, em diversas partes do mundo. A rochagem destaca-se como a técnica mais promissora no uso desses minerais e rochas como fonte de nutrientes.

As pesquisas constataram que esta aplicação, em climas tropicais, atinge taxas elevadas de dissolução e melhor desempenho, em decorrência das altas temperaturas e umidade no solo, que favorecem os mecanismos de reação entre os minerais e a solução do solo. Indicam, ainda, que as rochas vulcânicas fonolíticas e os basaltos possuem as taxas de liberação mais elevadas, ao contrário dos granitos e que foram obtidos resultados positivos na liberação de nutrientes contidos em rochas silicatadas ferro magnesianas e em lavas e tufos potássicos (Aparecida da Silva *et al.*, 2008).

No Brasil são relatados os experimentos no uso de rochas naturais para o sustento da agricultura familiar em Minas Gerais, além de pesquisas da EMBRAPA, Universidade de Brasília e de outras instituições (Theodoro *et al.*, 2006; Fyfe *et al.*, 2006).

As rotas tecnológicas sugeridas para enfrentar o desafio destes fertilizantes são:

- moagem fina e acidulação, a exemplo dos experimentos com a rocha fosfática.
- biossolubilização – compostagem, mistura com enxofre ou gipsita, acidulação parcial.
- combinação de multinutrientes com resíduos orgânicos para obter um composto orgânico.
- estudos de laboratório em casa de vegetação, para testar rochas de alta capacidade de troca iônica e alto potencial de intemperização (feldspatóide, rocha máfica ultra potássica, rocha vulcânica rica em olivina).
- pesquisa na liberação de nutrientes induzida por ação microbiana para produzir fertilizante biologicamente melhorado.
- obtenção de produtos de K e P via processos térmicos.
- obtenção de produtos de K e P via acidulação.

Estudos realizados por Marcelo Bezerra (2009) apresentam 69 áreas com minerais e rochas potenciais na região nordestina, cobrindo os 9 (nove) estados, para testes como fertilizantes silicatados multinutrientes (Ver Anexo).

A seguir serão apresentados diversos exemplos de estudos da aplicação de rochas alternativas como fertilizantes e remineralizantes, no Brasil.

Aluminofosfato

Nos municípios de Aurizona e São José, MA, há indícios da existência de depósito de fosfato, da ordem de 10 milhões de toneladas de rocha fosfática, com teor médio de 11,8 P_2O_5 . Entretanto, os estudos tecnológicos, até então realizados para viabilizar o seu aproveitamento, tiveram apenas caráter preliminar. Os minérios desses dois depósitos são constituídos, essencialmente, de P_2O_5 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , com 15% de perda ao fogo e baixa solubilidade cítrica. Por outro lado, a constituição mineralógica desses depósitos ainda é pouco conhecida.

Nos estudos tecnológicos desses dois depósitos de Trauíra e Pirocaua, constatou-se a baixa solubilidade dos fosfatos e um alto teor de Fe_2O_3 . Foram estudadas, em caráter preliminar, calcinação oxidante e redutora, separação magnética e lixiviação com soda cáustica. Desses estudos tecnológicos realizados, a calcinação redutora pode ser utilizada como rota de processo, todavia, há necessidade de uma avaliação técnica e econômico (Silva, Pinheiro e Luz, 1976).

Amazonito

Esta rocha ocorre em Potiraguá, BA, coordenadas UTM: 422 395 E e 8256 856 N e é constituída, essencialmente, por uma variedade verde de microclínio $K(AlSi_3O_8)$. A rocha amazonítica é constituída por microclínio, plagioclásio, quartzo, biotita e turmalina. Pesquisadores do CETEM (Adão B. Luz, Luiz Carlos Bertoli-

no e Silvia Cristina) estudaram a sua caracterização tecnológica com o propósito de utilizá-la como fertilizante de liberação lenta de K. Com amostras desta rocha, teor médio de 5,8% K₂O, foram realizados ensaios de extração de K. Para tanto, utilizaram-se soluções extratoras de água destilada e HNO₃ 0,01 mol/L. Os estudos prosseguem e deverão ser comparados com produtos obtidos por calcinação da amazonita, seguida de *quenching* e ensaios de extração de potássio nos produtos obtidos.

Ardósia

Em Ituporanga, SC, no Vale do Itajaí, utilizou-se a ardósia moída associada à adubação verde. Constatou-se um aumento na produção de cebola e uma redução na acidez do solo, supostamente, em decorrência do uso da ardósia moída como fertilizante alternativo.

Basaltos

O basalto, pela sua composição química e abundância, é uma das rochas mais utilizadas em rochagem. As ocorrências de basalto, no Brasil, são numerosas, como no caso da Formação Serra Geral que vai do Sul até o centro leste do Brasil.

A Formação Serra Geral é constituída por um espesso pacote de rochas ígneas que cobre mais de 1,2 milhão de km², correspondente a 75% da extensão da Bacia do Paraná, com espessura de 350 m nas bordas e mais de 1.000 m no centro da bacia.

Os resultados da análise química do basalto de Santa Catarina (amostra da Pedreira Ivo Kerber, Porto União, SC) revelaram a seguinte composição química: SiO₂ 53,62%; AlO₃ 13,47%; K₂O 1,17%; MgO 4,83%; CaO 9,00%; P₂O₅ 0,20%; S 139 mg/L; TiO₂ 1,19%; Fe₂O₃ 11,20%; Cu 71 mg/L; Zn 93 mg/L. Este tipo de material é usado na forma de rocha moída blendada com esterco de equinos, na adubação de mudas em viveiros, os quais implicam na necessidade de adubações frequentes, em razão da menor quantidade de substrato utilizado. Constatou-se, por meio da análise dos resultados, que mudas produzidas no substrato com basalto moído acumularam mais Ca, Mg, B, Cu e Fe nas folhas (Knapik, 2005).

Trabalhos, de longo prazo, com o cultivo da cana-de-açúcar no campo, citados por Leonardos et al. (1976), também obtiveram resultados positivos, com o custo de aplicação de 71 t/ha, pago, com o aumento da produção em quatro cortes, tornando o seu uso compensador, na época.

Brechas alcalinas e milonitos

Os milonitos de Ipirá - situam-se no complexo de Ipirá, no estado da Bahia, distrito de Bonfim de Ipirá, a 200 km de Salvador (Sá, 2006). O complexo é formado por um grupamento de gnaisses aluminosos, rochas calcossilicáticas, metacarbonatos, quartzitos, gnaisses bandados, formações ferríferas e xistos grafitosos com metabasitos e metaultrabasitos associados, localmente.

A faixa mineralizada está intimamente associada aos corpos (veios) de rochas calcossilicatadas com apatita e possui uma largura da ordem de 35 m. As reservas medidas nas áreas pesquisadas e com relatório de pesquisa aprovado pelo DNPM ultrapassam a faixa de 25 milhões de toneladas.

O material, apatita piroxenito milonito, é friável e constituído por grãos de apatita, feldspatos, quartzo, vermiculita e outros minerais com teores anômalos de fósforo, magnésio, potássio, ferro e outros elementos.

Carbonatitos

Os carbonatitos, pela sua composição química e mineralógica, podem ser utilizados como fertilizantes alternativos e calagem. Os grupos de carbonatitos descritos, a seguir, foram selecionados segundo critérios geológicos, geocronológicos e geográficos. São conhecidos 22 complexos carbonatíticos no Brasil que podem ser agrupados em 6 conjuntos (Lapido-Loureiro, 1995):

- Amazônia (3) – Seis Lagos, Mutum e Maicuru (AM, PA).
- Nordeste (1) – Angico dos Dias (BA).
- Alto-Araguaia (3) – Morro do Engenho, Caiapó e Santo Antônio da Barra (Rio Verde-GO).
- Alto Paranaíba (6) – Catalão I e II, Serra Negra, Salitre I e II, Araxá e Tapira (GO, MG).
- Sudeste (7) – Ipanema, Itanhaém, Juquiá, Jacupiranga, Itapirapuã e Mato Preto (SP, PR).
- Sul (2) – Lages e Anitápolis (SC).

A mineralogia destes carbonatitos é bastante variável, estando presente com frequência, além da apatita, a flogopita, silicato de K e Mg, sendo K o nutriente estratégico no contexto deste estudo prospectivo.

Merecem destaque os trabalhos pioneiros da empresa MIBASA- Mineração Barreto S.A. (Arapiraca, AL), na produção e comercialização do MB-4. Trata-se de uma mistura de serpentinito e biotita xisto, que além de corrigir a acidez do solo, promove a liberação lenta de silicatos e micronutrientes, sempre recomendando a adição de matéria orgânica na sua aplicação. Segundo informações da empresa, este produto tem sido aplicado nas mais diversas culturas: algodão, fumo, cana-de-açúcar, soja, feijão, milho, sorgo, fruticultura e hortaliça.

Flogopitito

É uma rocha constituída, essencialmente, de flogopita (mineral do grupo das micas), com cerca 8% de K_2O . Esta contém íons potássio nas posições interlamelares. Foram realizados, pelo CETEM/IQ-UFRJ (Soueiro da Silva, 2009), estudos de caracterização dessa rocha, proveniente de Carnaíba, BA, com o fim de utilizá-la como fertilizante de liberação lenta.

Foi estudada a cinética de liberação do potássio utilizando soluções ácidas (ácido nítrico, cítrico, oxálico, sulfúrico e solução Mehlich-1) e salinas (cloreto de sódio, cloreto de amônia, cloreto de cálcio, cloreto de ferro, sulfato de magnésio e tetrafenilborato). Os resultados indicam uma extração de potássio com um teor máximo de 1,8%, quando foi usada uma solução de H_2SO_4 9,0 mol/L. Foram também realizados ensaios de alteração estrutural por meio de *quenching*, objetivando o aumento da taxa de extração do potássio. Assim, obteve-se uma extração de 5% dos íons K^+ quando utilizada uma solução de H_2SO_4 3,5 mol/L. O melhor desempenho para a extração de K^+ foi obtido por meio do uso de solução de tetrafenilborato de sódio.

Não foram realizados ensaios de eficiência agrônômica, entretanto, constatou-se que o flogopitito pode ser aplicado como fertilizante alternativo em culturas que demandam o potássio (Soeiro da Silva, 2009).

Fonolitos

São numerosas as ocorrências de fonolitos no País, associadas a complexos alcalinos. Entre as mais conhecidas e melhor estudadas figura a de Poços de Caldas –MG.

No município de Caldas-MG, a Mineração Curimbaba produz, a partir do fonolito, um pó-de-rocha com teor de 8,0 % de K_2O . Na Pedreira denominada Cabeça de Boi, na qual se produz brita para a construção civil, os finos gerados, abaixo de 4 mm, são processados num britador tipo Barmak, obtendo-se um produto comercializado para indústria cerâmica de revestimento. Os finos do peneiramento (80% < 400 malhas) a seco são coletados em filtros de manga e destinados a ensaios de eficiência agrônômica (UNESP de Botucatu) para o cultivo de café, milho e soja, com resultados promissores (Curimbaba, 2009).

Kimberlitos

Os kimberlitos, rocha-mãe dos diamantes, pela sua mineralogia e composição química, são considerados rochas ultrapotássicas. Assim, estas são consideradas como fontes de fertilizantes alternativos.

Dividem-se em Grupo I (basáltico) e Grupo II (micáceo). Nos kimberlitos do Grupo I, ricos em CO₂, predominam olivina forsterítica, ilmenita magnésiana, piropo e flogopita. Os do grupo II são ricos em H₂O, com macro e mega cristalizações de flogopita, com a existência de micas e a olivina não é constituinte essencial (Barbosa, 2006).

Em termos de ocorrências diamantíferas, há 15 áreas conhecidas que se distribuem pelos estados de Roraima, Sul do Amazonas, Rondônia, Amapá, Pará, Maranhão, Piauí, Bahia, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e São Paulo, com potencial para uso como rocha alternativa para agricultura.

Riolitos e riolacitos

No município de Guarapuava (PR) ocorre uma sucessão de derrames básicos e ácidos, estes correspondem aos riolacitos e riolitos do tipo Chapecó, enriquecidos em P e K. Estas rochas são exploradas em pedreiras, para a produção de brita e areia de brita, gerando um material fino como rejeito da britagem.

Estudos recentes mostram que esse material pode ser empregado na agricultura como fonte de P e K, com prévio tratamento biológico da rocha pulverizada, usando microorganismos selecionados que auxiliam a biodisponibilização desses nutrientes, resultando em fertilizante para a agricultura (Trazt *et al.*, 2008).

Rochas fosfáticas

Citam-se algumas formações geológicas nos estados de MG, GO, MS, BA, TO e AM com fosfatos, pouco estudadas ou com ocorrências consideradas marginais para os processos industriais clássicos, mas passíveis, talvez, de aproveitamento em rochagem.

- Grupo Bambuí: Formações Lagoa do Jacaré, Sete Lagoas, Grupo Una e formação Irecê, Unidade Nova América (BA). São metassedimentos carbonáticos e pelito-carbonáticos, com esteiras de algas e estromatólitos ou margas com intercalações de fosforitos (nestes ambientes localizam-se as ocorrências/depósitos de Irecê – BA, Patos de Minas – MG, Cedro do Abaeté – MG e Campos Belos –GO. Os rítmitos fosfáticos da Serra da Saudade (sucessão rítmica de fácies sedimentares correspondem a depósitos clásticos ricos de grãos fosfáticos de apatita e fluorapatita, com teores elevados de P₂O₅ (Tabela 3).

Tabela 3 – Análises químicas de duas amostras de rítmico fosfático da Serra da Saudade (Lima, Uhlein & Britto, 2007).

Amostra	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO ₂	MgO	SiO ₂	TiO ₂
A	13,3	13,3	2,34	2,13	18,64	12,37	0,88	30,1	0,49
B	15,1	0,10	5,61	7,97	10,62	2,48	1,26	50,3	0,79

A Formação Serra da Saudade, do Grupo Bambuí, é representada na sua seção tipo, pelas litofácies: i) rítmico pelito-arenoso; ii) arenito fino; iii) carbonatos retrabalhados; iv) *rítmico pelito-arenoso verde (verdetes)*, com teores de K₂O entre 8,98 e 11,9%; v) *rítmico fosfático* com teores elevados de P₂O₅ que, em alguns leitos mais intemperizados, podem atingir valores superiores a 25% (LIMA, UHLEIN & BRITTO, 2007).

Estudos geológicos realizados pela Petrobras, pelo Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da UFMG e pelo CDTN/CNEN levaram a considerar os depósitos de fosfatos como fosforitos de tipo alóctone (*op. cit.*).

A Formação da Serra da Saudade possui enorme potencial, não só para aplicação direta ou produção industrial de sais de potássio, a partir do “verdete”, mas também como fonte de materiais para rochagem de fosfatos (direct application phosphate rock - DAPR, da sigla em inglês) ou de ‘rocha fosfática parcialmente acidulada’ (partial acidulation phosphate rock - PAPR – da sigla em inglês) ou, talvez ainda, de fosfatos super simples SSP (da sigla em inglês) a partir dos fosforitos com teores mais elevados de P₂O₅.

- Grupo Corumbá, Formação Bocaina (MS): Sequência de metassedimentos marinhos, rasos, constituídos de calcários e dolomitos, com níveis de fosforito.
- Formação Pimenteiras: Sequência de sedimentos marinhos transgressivos, constituídos de arenitos, siltitos e folhelhos, com disseminações de fosfato criptocristalino (colofana), associado a anomalias radiométricas e à glauconita. São conhecidas rochas fosfáticas sedimentares, na formação Pimenteiras, encaixadas em siltitos e arenitos, com teores de P_2O_5 , em amostras pontuais, variando entre 4 e 19% de P_2O_5 .
- Grupo Beneficente (AM): Sequência de metassedimentos marinhos glauconíticos constituídos por siltitos com disseminações de fosfato criptocristalino (colofana) e arenitos com micronódulos de colofana.
- Na região NE de Goiás e SE de Tocantins, na divisa desses dois estados, ocorrem, nas porções inferiores do Grupo Bambuí, depósitos de rocha fosfática em siltitos (5% P_2O_5) e fosforitos (18% P_2O_5), nos municípios de Campos Belos-GO e Arraias-TO. A rocha natural moída (moinho de martelos) obtida do fosforito, pela empresa ITAFOS, foi testada no cultivo da soja, no município de Correntina-BA, com resultados superiores ao Superfosfato Simples-SSP, isolado (Paçõ e Oliveira, 2009).

Rocha zeolítica

Zeólitas são aluminossilicatos hidratados de metais alcalinos ou alcalinos terrosos, principalmente sódio, potássio, magnésio e cálcio. A estrutura cristalina das zeólitas confere a estas, propriedades importantes para os processos industriais, tais como: propriedades de troca catiônica, alto grau de hidratação, canais uniformes nos cristais desidratados, propriedades catalíticas, dentre outras. A sua alta capacidade de adsorção está relacionada à elevada superfície interna, associada à sua estrutura cristalina caracterizada por cavidades espaçosas (Luz, 1994).

Segundo esse mesmo autor, as zeólitas possuem um vasto campo de aplicação, destacando-se, no contexto deste trabalho, como condicionador de solos, pela sua capacidade de retenção de água e de armazenar nutrientes do tipo nitrogênio, potássio e fósforo, liberando-os lentamente. Desta forma, contribuem para minimizar as perdas por lixiviação desses nutrientes, resultando em significativa economia de fertilizantes. As zeólitas, por serem carreadoras de nutrientes, podem ser utilizadas como fertilizantes, com a vantagem de algumas de suas espécies possuírem, naturalmente, quantidades significativas de potássio e pouco sódio.

Os principais depósitos de zeólitas, no Brasil, com potencial de aproveitamento econômico, ocorrem em rochas sedimentares, na Formação Mata da Corda - Bacia do Parnaíba (MA/TO). Nesta, ocorrem as espécies stilbita e laumontita, na forma de um cimento, nos arenitos eólicos e fluviais. A zona de mineralização distribui-se por uma área de 1.000 km², pelos estados do Maranhão e Tocantins, em espessuras que podem atingir até 30 m. As zeólitas contidas nesses arenitos atingem até 50% da reserva (Rezende *et al.*, 2008).

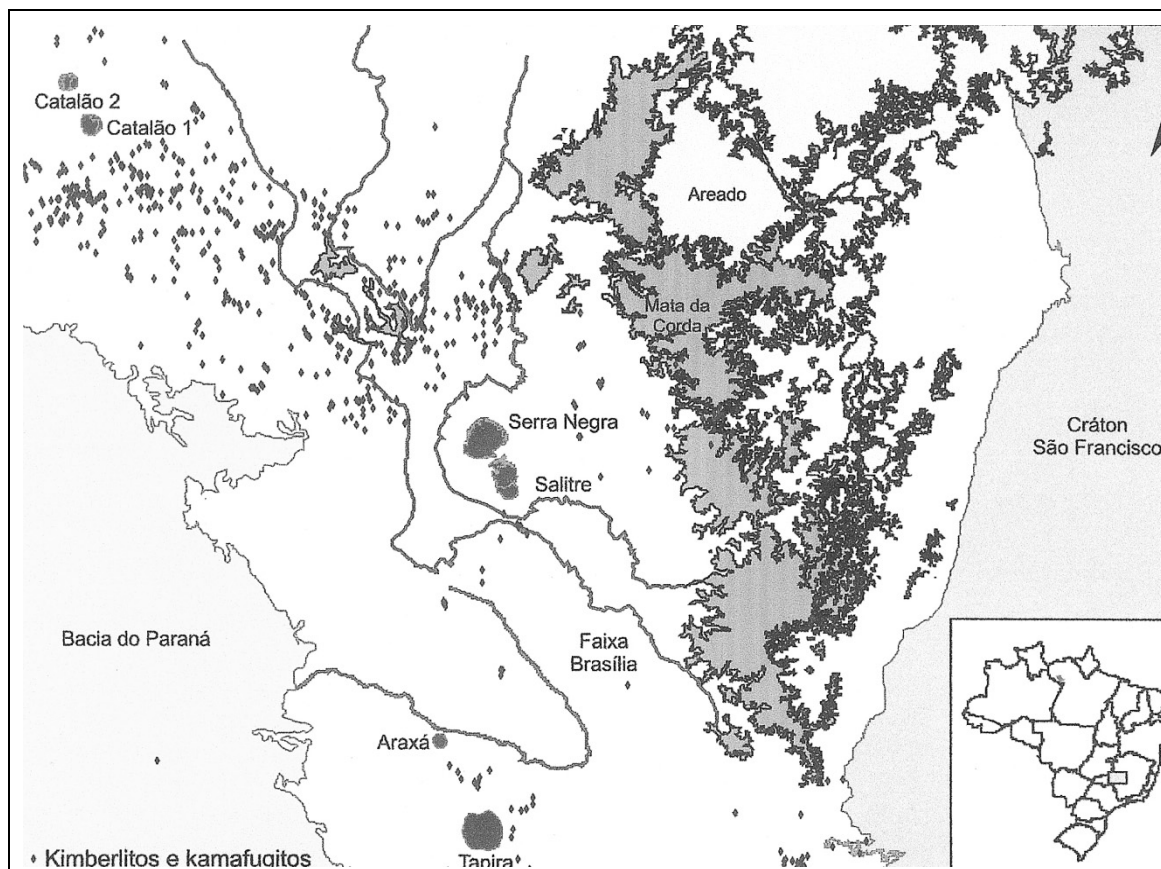
Por meio dos estudos de beneficiamento realizados no CETEM, constatou-se a possibilidade técnica de enriquecimento dessas zeólitas, por processos gravíticos. A seguir, esses concentrados de zeólitas foram enriquecidos com nitrogênio, fósforo, e potássio e realizados testes agrônômicos (fruticultura), com resultados promissores, indicando seu uso como fertilizantes de liberação lenta (Paiva *et al.*, 2004; Paiva *et al.*, 2005; Monte *et al.*, 2004; Monte *et al.*, 2006).

A análise dos estudos realizados, até agora, por pesquisadores do CETEM/Embrapa/UFRJ, recomendam o prosseguimento desses estudos objetivando o seu aproveitamento econômico, em particular, para uso na agricultura.

Rochas ultramáficas alcalinas

Província Ígnea do Alto Paranaíba (MG/GO).

Esta província situada no centro-oeste de Minas Gerais e sudeste de Goiás (Figura 2) é composta por grande volume de kamafugitos (Grupo Mata da Corda e inúmeros corpos sub-vulcânicos), numerosos kimberlitos, com destaque para a região de Coromandel, e vários complexos plutônicos alcalino-carbonatíticos (Catalão I e II, Serra Negra, Salitre I e II, Araxá e Tapira) e diques de flogopita picritos.



Fonte: Gomide (2008).

Figura 2 – Localização e geologia regional do Alto Paranaíba

Província Alcalina de Goiás/Complexo Vulcânico alcalino- carbonatítico de Rio Verde (Santo Antônio da Barra).

A Província alcalina de Goiás estende-se ao longo de uma faixa de direção NW, com cerca de 250x70 km. Inclui desde complexos máficos-ultramáficos alcalinos na porção norte, a rochas subvulcânicas, que são predominantes na porção central, e vulcânicas na porção sul.

Verdete é no Brasil o nome atribuído por Djalma Guimarães, a uma rocha constituída, essencialmente, de glauconita e que ocorre, entre outros, nos municípios de Matutina, Cedro e Cedro do Abaeté, no estado de Minas Gerais, formando depósitos estimados em centenas de milhões de toneladas.

A glauconita ocorre em sedimentos marinhos (arenitos, argilas, calcários e leitos de fosforita) de baixas profundidades, principalmente em zonas de mares e oceanos, além de sedimentos marinhos recentes (siltitos verdes e areias). É frequente em certos níveis do Grupo Mata da Corda (Figura 2.)

O termo glauconita deriva da palavra grega, *glaukos* ($\gamma\lambda\alpha\upsilon\kappa\omicron\varsigma$), que significa verde azulado. É um aluminossilicato hidratado de ferro, magnésio, potássio cuja fórmula química é $K_2(Mg,Fe)_2Al_6(Si_4O_{10})_3(OH)_{12}$, com densidade variando entre 2,4 e 2,95. A sua composição é variável e, na Tabela 4, encontram-se as faixas percentuais dos constituintes básicos de uma glauconita típica.

Tabela 4 – Compostos e elementos químicos básicos da glauconita, inclusive suas faixas percentuais no mineral (*A. Betekhtin*)

Compostos	Percentagens	Elementos	Percentagens
K ₂ O	4,0 – 9,5	Potássio (K)	5,49
Na ₂ O	0,0 – 3,0	Sódio (Na)	0,27
Al ₂ O ₃	5,5 – 22,6	Magnésio (Mg)	2,28
Fe ₂ O ₃	2,79 – 6,1	Alumínio (Al)	1,90
FeO	0,8 – 8,6	Ferro (Fe)	19,62
MgO	2,4 – 4,5	Silício (Si)	25,00
SiO ₂	47,6 – 52,9	Hidrogênio (H)	0,47
H ₂ O	4,9 – 13,5	Oxigênio (O)	44,97

Este afloramento de verdete está situado no município de Matutina localizado por: 23K 0403958; UTM 7872894 a uma altitude de 928 m (Fazenda Pirapitinga).

Nessa região de Matutina, a rocha verdete ocorre na forma compacta e, na sua maior parte, bem fraturada, porém há locais, nos quais a rocha ocorre na forma compacta sem fratura.

Outras ocorrências de verdetes são:

- as da Formação Pimenteiras, no flanco ocidental da bacia do Paranaíba (TO), constituídas por sedimentos marinhos formados por arenitos, siltitos e folhelhos, com disseminações de fosfato criptocristalino (colofana) e glauconita, ocupando uma área aproximada de 25.000 km².
- as do Grupo Beneficente, na região de Juruema/Teles Pires/Aripuanã no norte de Mato Grosso e no Sul do Amazonas, sequência de metassedimentos marinhos glauconíticos constituída de siltitos com disseminações de fosfato criptocristalino (colofana) e arenitos, cobrindo uma área aproximada de 60.000 km².

A associação da glauconita a mineralizações de fosfato poderá revestir-se de grande interesse no âmbito da rochagem.

O verdete pode se tornar uma fonte alternativa ao KCl (silvita), tradicional fertilizante potássico usado na agricultura.

O desenvolvimento de fertilizante potássico, termopotássio, exige investimento de pesquisas tecnológicas e a utilização de uma matéria-prima rica em potássio, fato que favorece a utilização do verdete para esse fim.

Desse modo, o verdete de Matutina localiza-se numa vasta e bem desenvolvida fronteira agrícola. Além da demanda promissora para obtenção de um produto de potássio, para uso como fertilizante agrícola, há também na região: pedreiras de calcário, energia elétrica, malhas ferroviária e rodoviária, entre outras. Em resumo, há uma logística que favorece o aproveitamento econômico desse fertilizante alternativo.

A obtenção de um produto de potássio para uso como fertilizante, com base em verdete, exige o desenvolvimento de pesquisas com foco nos parâmetros tecnológicos, inclusive testes agrônômicos e estudos de mercados.

Serpentinitos

Foram avaliadas as rochas serpentínicas provenientes da mina de amianto, Minaçu, GO, e da mina de Ipueira, Andorinhas, BA.

No caso da mina de amianto da SAMA, Minaçu, GO, foi feita uma avaliação do potencial de aplicação (econômico e ambiental) do uso de serpentinitos provenientes dos estêreis dessa mina. Para uso como insumo na agricultura (correção de pH e do teor de Mg), desenvolveu-se um estudo, em escala de laboratório, com base em ensaios físicos, químicos e biológicos (Tavares *et al.*, 2009).

A avaliação dos resultados de DRX revelou, como fases minerais majoritárias: crisotila, caulinita, gibbsita e olivina. Constatou-se a existência de minerais magnesianos, em níveis significativos, típico dos serpentinitos. Ao investigar os resultados da caracterização química, constataram-se elevados teores de MgO (>45%) e de SiO₂ (Tabela 5). Foram identificados minerais carbonatados, em lâmina delgada.

Quanto ao potencial tóxico do uso desse material na agricultura, é importante ressaltar a concentração de 0,54% de NiO e de 0,74% de Cr₂O₃. A ação do intemperismo sobre os minerais de cromita, poderá liberar formas ionizadas de cromo para o ambiente. Em decorrência da elevada toxicidade associada à espécie hexavalente do Cr, ressalta-se a necessidade de se avaliar os efeitos adversos à saúde de ecossistemas aquáticos e terrestres. Em adição, a ocorrência de crisotila detectada na DRX e de fibras (serpentinó <74 µm) observadas na imagem ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), na Figura 3, apontam para possíveis exposições ambientais com danos à saúde humana, sobretudo no que se refere aos efeitos deletérios sobre o sistema respiratório.

Tabela 5 – Resultados das análises químicas para uma amostra do serpentinito Minuçu.

Óxidos	Teor (%)	Óxidos	Teor (%)
Al ₂ O ₃	0,58	MnO	0,13
CaO	0,13	NiO	0,54
Cr ₂ O ₃	0,74	SiO ₂	40,56
Fe ₂ O ₃	11,34	SO ₃	0,14
MgO	45,70	Perda ao fogo	15,19

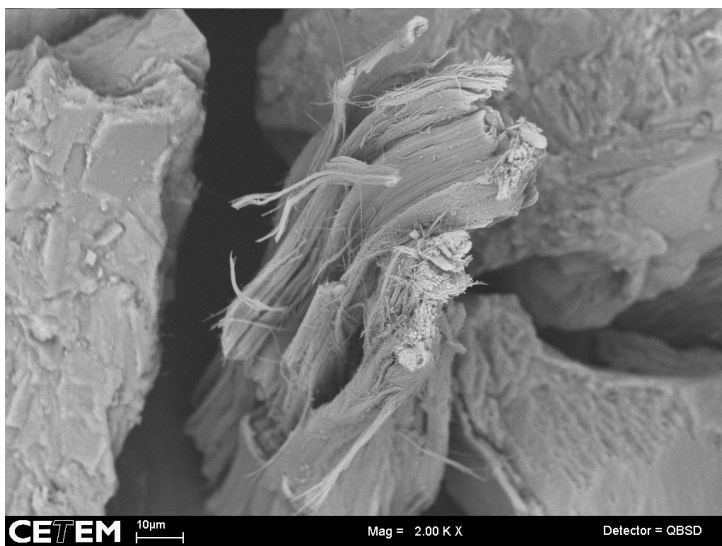


Figura 3 – Imagem (MEV) de fibra mineral em amostra de serpentinito.

Os resultados ilustrados na Figura 4 indicam uma relação positiva entre o tempo de contato do serpentinito (em 208 μm) com a água e o teor de Mg na solução aquosa, sendo que em 72 h foi atingida a concentração de saturação de 370 mg/L. Os teores de Cr ficaram abaixo do limite de detecção do método analítico (0,3 mg/L). Estes resultados sugerem elevada disponibilidade do Mg e baixa liberação do Cr em água, realçando o potencial de aplicação do extrato aquoso na agricultura. Estes resultados, entretanto, deverão ser confirmados em futuros ensaios, bem como em escala piloto.

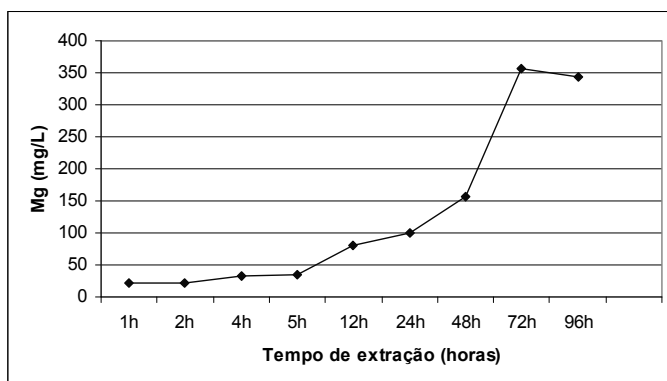


Figura 4 - Influência do tempo na extração aquosa de magnésio contido no serpentinito.

A avaliação dos resultados dos ensaios granulométricos revelou que nas frações mais grossas, os teores de Mg são mais elevados que os de Cr, sugerindo que a fração granulométrica entre 830 e 208 μm seja a mais adequada para o uso do serpentinito na agricultura. Esta fração corresponde a 30% da rocha cominuída abaixo de 6 malhas, significando portanto baixo consumo energético, considerando ainda, o fato de ser um estéril da mina de amianto. Ainda, a extração aquosa de Mg de serpentinito (208 μm) foi promissora, indicando o possível uso desta solução aquosa em ensaios em casa de vegetação.

O teste de toxicidade agudo com oligoquetas demonstrou uma tendência de incremento de letalidade com o crescimento da dose, variando de 60, 90 e 100% de letalidade. Sugere-se, entretanto, que o pH extremamente básico resultante da adição do serpentinito ao solo artificial, tenha sido o fator determinante na toxicidade.

Concluindo, os principais resultados apontam para a utilização do Mg extraído em solução aquosa, em sistemas de irrigação de cultivares, evitando-se a rochagem com os estéreis cominuídos, de forma a prevenir a disposição de fibras minerais em áreas agricultáveis.

No caso do serpentinito oriundo da mina de Ipueira, Andorinhas, BA, a rocha é composta, essencialmente, de dolomita, calcita e diopsídio, cuja composição química consta na Tabela 6. A análise dos resultados dos estudos desenvolvidos no CETEM, indica que a rocha é rica em Ca e Mg. Ademais, possui quantidades significativas de Fe, K e Mn que, em princípio, favorece a sua aplicação como fonte complementar de nutrientes agrícolas.

Tabela 6 – Composição química da rocha serpentinito, mina de Ipueira, Andorinhas, BA.

Composição	Peso (%)	Composição	Peso (%)
CaO	33,70	K ₂ O	0,223
MgO	20,94	MnO	0,126
SiO ₂	13,31	Cl	0,072
Na ₂ O	0,456	P ₂ O ₅	0,023
Fe ₂ O ₃	0,447	P.F. (1.000°C) *	30,30
Al ₂ O ₃	0,408		

Nota: * P.F. – Perda ao Fogo

O poder de neutralização total foi definido por meio da titulação ácido-base, em que o excesso de ácido é quantificado por alcalimetria. Com base nos resultados da composição química da rocha e auxílio do método de espectrofotometria de emissão óptica (Ca, Mg), foi determinada a soma das percentagens dos óxidos de cálcio e magnésio. O poder relativo de neutralização total foi calculado, conforme o método analítico oficial (Brasil, 2007).

O potencial poluidor da rocha foi determinado, conforme as instruções descritas nas normas técnicas da ABNT (1987a, b, c, d).

A análise dos resultados dos estudos desenvolvidos no CETEM indica que a rocha possui características adequadas para uso como corretivo de acidez de solos, e atendem as exigências estabelecidas pelo MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Kamafugitos

As províncias alcalinas do Alto Paranaíba e de Goiás contêm algumas das mais extensas exposições conhecidas de kamafugitos (Tabela 7), dentre as quais se destacam os derrames da região de Rio Verde.

Tabela 7 – Composição química de kamafugitos de Rio Verde-GO

Rocha	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	PF
(1)Brecha piroclástica	39,1	4,4	12,6	12,8	7,5	12,0	0,1	5,0	0,9	22,6
(2)Arenito vulcânico	26,6	2,8	5,4	9,3	8,4	24,1	0,9	0,9	0,6	23,6
(3)Basalto	47,3	2,5	11,2	12,9	4,9	7,6	2,0	1,1	0,4	9,4
(4)Zeólita	52,4	0,1	13,5	0,8	0,3	11,5	2,1	2,2	0,4	18,0
(5)Sienito	58,4	1,4	18,7	5,3	1,1	3,4	5,7	6,4	0,3	1,6

Rio Verde, também designado por Santo Antônio da Barra, é uma sequência vulcânica heterogênea (piroclástica e lavas) de rochas zeolíticas (analcíticas), localmente capeadas por lavas, tufos e aglomerados de silicocarbonatitos. Os tipos petrográficos dominantes são os analcíticos e os analcíticos olivínicos (Gaspar e Dami, 1981; Junqueira-Brod, 2002). Esses Kamafugitos foram estudados pela Embrapa Cerrados e UnB, como fontes de K para soja e milho e apresentaram resultados animadores (Martins *et al.*, 2008).

Vermiculita, Município de Queimadas (PI), Parnamirim (PE), Brumado (BA) e Santa Luzia (PB)

A região semiárida possui três importantes depósitos de vermiculita, nos estados do Piauí, Pernambuco, Bahia e Paraíba.

O depósito de vermiculita da região de Paulistana está localizado no sudeste do Estado do Piauí, no município de Queimada Nova. Trata-se de um corpo de rochas básicas e ultrabásicas, de forma elíptica, intrusivo em xistos granatíferos, xistos gnaissificados e migmatitos que compõem o Grupo Salgueiro, que se estende ao vizinho estado de Pernambuco, onde também foram detectadas ocorrências de vermiculita. Esta ocorre associada à rocha básica, na forma disseminada ou em veios pegmatóides.

Os depósitos de Brumado, na Bahia e Santa Luzia, na Paraíba, também ocorrem associados a complexos básicos-ultrabásicos, com reservas medidas (2005) de 1.724.445 t e 1.976.018 t, respectivamente.

A vermiculita é um silicato hidratado de magnésio, ferro, alumínio, potássio, com estrutura micáceo-lamelar e clivagem basal, podendo conter até 5% K₂O. O mineral se expande, sob aquecimento (800 a 1.100°C), atingindo volume de 10 a 12 vezes o seu volume natural. Sua capacidade de troca catiônica está na faixa de 100 a 130 meq/100g (Ugarte *et al.*, 2008).

A vermiculita quando expandida transforma-se num produto importante para composição dos fertilizantes e condicionamento de solos para horticultura. É utilizada no plantio de mudas, em reflorestamento de

grandes áreas, inibidor de micro e macro nutrientes de adubos, estimulador da germinação de sementes. Dentre outras características, podem ser mencionadas (Ugarte *et al.*, 2008):

- sua capacidade de troca catiônica disponibiliza amônia, potássio e cálcio para as plantas.
- promove a aeração do solo, retém a umidade e favorece a absorção de nutrientes, por meio das raízes das plantas.
- quando expandida torna-se muito leve e favorece o seu manuseio na composição com outros solos, turfas, fertilizantes, pesticidas e herbicidas.

Algumas rochas provenientes da lavra de não metálicos podem transformar-se em um fertilizante. Como exemplo é citado uma mineração de vermiculita, em Uganda, África. Os finos da vermiculita intemperizada ocorrendo sob a forma de flogopita/piroxênio foram, a princípio, descartados como estéreis da mina. A avaliação dos resultados de análises químicas indicou que essa matéria-prima mineral contém Mg trocável, P e micronutrientes disponíveis para as plantas. O uso desse subproduto, como fertilizante, foi de certa forma descoberto de forma acidental, na cultura de milho (van Straaten, 2007).

Turfas

A turfa é um material poroso, proveniente do acúmulo de restos vegetais, em ambiente subaquático raso, com variados graus de decomposição. A turfa *in situ* contém cerca 90% de água. Todavia, quando extraída e seca ao ar, o valor da umidade reduz-se em média a 40%.

No sistema brasileiro de classificação de solos (Embrapa Solos, 1999), as turfeiras correspondem aos organossolos.

Dentre outros resíduos vegetais incluem-se: fragmentos de carvão, substâncias húmicas, biomassa meso e microbiana. Possuem coloração preta, cinzenta muito escura ou marrom e elevados teores de carbono orgânico. Quando o teor de carbono é maior ou igual a 80 g/kg, a turfa é considerada material orgânico, valor esse medido na fração terra fina seca ao ar (TFSA), de acordo com o método preconizado pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPQ) da Embrapa, no seu Manual de 1997 (Shintaku & Shinzat, 2009).

Além de ser importante fonte energética, a turfa também é utilizada na agricultura, como condicionadora de solos, biofertilizante e substrato de mudas ou aplicada diretamente no solo.

Na ex-União Soviética, a turfa é processada quimicamente e misturada com fertilizantes minerais para que sua eficácia na absorção pelo solo seja aumentada e não somente como condicionador do solo ou fertilizante puramente orgânico.

RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Escórias da indústria metalúrgica

Em várias partes do mundo estudou-se a utilização de escórias siderúrgicas, como insumo agrícola, com resultados satisfatórios na sua aplicação. O seu uso deve ser precedido de estudos de caracterização química e mineralógica, para avaliar o risco de contaminação ambiental, principalmente pela existência de metais pesados. Na etapa seguinte, procedem-se os testes de eficiência agrônômica. O mesmo procedimento é feito para outras fontes de fertilizantes alternativos, todavia, no caso de escórias, os critérios são mais rigorosos.

Nos EUA, o uso de escória é aprovado por agências federais de agricultura e licenciados por alguns órgãos estaduais. Em alguns países da Europa, testes realizados indicam melhora nas propriedades dos solos ácidos. Na França, por exemplo, estuda-se o uso de escória na agricultura, há mais de 20 anos.

A legislação brasileira prevê a utilização da escória, principalmente como corretivo da acidez dos solos. Para tanto, o (MAPA) estabelece normas quanto à qualidade que o corretivo deve possuir.

Escórias siderúrgicas

No Brasil, o uso da escória de siderurgia, na agricultura, como corretivo de acidez do solo, ainda é bastante incipiente, perante as 18,9 milhões de toneladas de calcário consumidas anualmente, em média, entre 1994 a 2005, segundo dados da ABRACAL (MAPA, 2006). Em alguns países, como no Japão, o uso da escória siderúrgica na agricultura já é bastante difundido, principalmente para a cultura do arroz, na qual esse produto atua também como fonte de silício.

Escórias de desfosforação

É uma escória de siderurgia originada da produção de aço proveniente de minério de ferro rico em fósforo. Também é conhecida como escória de Thomas (Tabela 8) ou escória básica ou fosfato de Thomas. É usada na agricultura, principalmente como fonte de fósforo.

Tabela 8 – Análise típica da escória de Thomas.

Óxido	Peso (%)	Óxido/elemento	Peso (%)
P ₂ O ₅ total	17,6	MgO	2,1
P ₂ O ₅ (*)	15,5	MnO	4,3
SiO ₂	8,5	Fe ₂ O ₃	16,3
CaO total	47,2	Al ₂ O ₃	1,8
CaO livre	2,8	F	0,008

Nota: (*) solúvel em ácido cítrico

Fonte: Adaptada de Malavolta, 1981.

Escórias de produção de ácido fosfórico por via seca

Segundo Luz e Lins (1976), a produção de ácido fosfórico pode ser feita por duas vias. A via úmida, da qual resulta como subproduto o gesso (anidrita-CaSO₄), semi-hidratado (CaSO₄. ½ H₂O) ou di-hidratado (CaSO₄. 2H₂O). A via seca que produz uma escória de cálcio (CaSiO₃), como subproduto.

Malavolta (1981) descreve, de maneira simplificada, o processo por via seca. Em forno elétrico, em contato com areia e coque, o fósforo do concentrado fosfático (apatita ou fosforita) é reduzido à forma elementar e, em seguida, após oxidação, obtém-se o P₂O₅, que ao reagir com a água, tem-se o H₃PO₄.

Fosfogesso

A geração de sulfato de cálcio, como rejeito da indústria do ácido fosfórico – fosfogesso, tem sido em âmbito mundial, da ordem de 40 a 47 milhões de toneladas anuais, desde meados dos anos 80.

No Brasil até 1991, o fosfogesso acumulado pelas fábricas de produção de ácido fosfórico, totalizava 29 Mt. Hoje deve ultrapassar 70 Mt (Lapido-Loureiro e Nascimento, 2009 b).

Em 2005, a produção anual foi de 5 Mt/ano, das quais 1,5 a 1,9 Mt foram comercializadas para uso agrícola e 0,5 a 0,7 Mt para uso químico (Tomaz, 2006).

Pelas suas propriedades como fertilizante e corretivo de solos, a agricultura e a pecuária (pastagens) tornam-se os maiores consumidores potenciais de fosfogesso. Já foram comprovados efeitos benéficos em 50 cultivares, com taxas de aplicação de 100-200 kg/ha, no entanto, em certos casos, a quantidade ideal é de 1.000 kg/ha. Em pastagens, a aplicação de 0,1 t/ha/ano aumenta o rendimento em 20%. A agricultura pode, assim, absorver, não só todo o fosfogesso estocado, como também o produzido (Astley e Hilton, 2006).

Já em 1887, F.W. Dafer, diretor da Imperial Estação Agronômica de Campinas mostrou o efeito benéfico do gesso no cultivo do café. Hoje, a aplicação do gesso é significativa e cresce, tanto na construção civil, com várias aplicações, quanto na agricultura, como fonte de Ca e S, melhorador de solos sódicos, argilosos pesados e ácidos.

No Brasil, *gipsita*, *gipso* ou *gesso* são termos usados, frequentemente, como sinônimos: referem-se ao produto natural (mineral) *gipsita* e *anidrita*.

Gessos sintéticos, industriais ou residuais

Indústrias de produção de ácidos como o fosfórico, fluorídico, bórico, cítrico, fórmico, tartárico, de extração de cloreto de sódio e as de tratamento de resíduos industriais, dão origem a sulfatos de cálcio residuais: *fosfogesso*, *fluorgesso*, *borogesso*, *organogessos* (*citrogesso*, *formogesso*, *tartarogesso*), *salgesso*, *titanogesso*, *sodogesso*, *sulfitogesso* e *gessos* de neutralização de resíduos ácidos *wan* gessos (Lapido-Loureiro e Nascimento, 2008). São fontes potenciais de gesso para a agricultura e algumas como o fosfogesso e o fluorgesso já são aplicadas.

Fosfogesso – gesso formado no processo industrial de produção de ácido fosfórico pela rota sulfúrica, com uso de concentrados de apatita, predominantemente fluorapatita.

Dessulfogesso – gesso resultante da dessulfurização de gases efluentes; designação dada ao sulfato de cálcio formado no processo de dessulfurização do gás resultante da combustão de carvão ou de óleo nas centrais térmicas: absorção do dióxido de enxofre (e também dos óxidos de nitrogênio) por uma suspensão aquosa de hidróxido de cálcio (leite de cal).

O fosfogesso é, em âmbito mundial e em termos de tonelagem produzida, (40 a 47 milhões de toneladas anuais, desde meados dos anos 80), o mais importante dos gessos residuais. Porém, com as atuais preocupações ambientais que implicam a redução de gases de efeito estufa, as quantidades de gesso (CaSO_4) gerados no tratamento de efluentes industriais, poderão crescer intensamente. A sua pulverização geográfica poderá significar redução do item preço de transporte, para aplicação, por exemplo, na agricultura ou na indústria do cimento.

A gipsita e o fosfogesso devem ser encarados como importantes insumos para a agricultura, indústria do cimento (retardante) e engenharia civil, embora apresentem especificidades, principalmente, o fosfogesso, que desaconselham seu uso indiscriminado. O fosfogesso é classificado pela CNEN – Comissão Nacional de Energia, como rejeito de baixo nível de radioatividade.

Pesquisas realizadas na Universidade Federal de Viçosa (Souza, 2005), na UFRJ/COPPE (Silva, 1997) e por E. Malavolta (1992) concluíram que "do ponto de vista radiológico, não há restrição para uso agrícola do fosfogesso" (Souza, 2005).

Detalhes adicionais poderão ser encontrados em capítulo deste livro e ainda nos capítulos 10, 15, 16 e 17 do livro, "Fertilizantes : Agroindústria e Sustentabilidade". (Lapido-Loureiro et al., 2009).

Termofosfato e termofosfato potássico

Termofosfatos são fertilizantes resultantes do processamento térmico de rochas fosfáticas com ou sem a adição de outras matérias-primas minerais. Esse processamento tem por objetivo tornar o fósforo disponível para as plantas. Os termofosfatos são insolúveis em água, no entanto, são solúveis em solução de citrato de amônio e possuem característica alcalina. Este fato favorece a aplicação dos termofosfatos em solos ácidos, todavia, inconveniente para solos alcalinos das regiões de clima temperado.

A partir do século XX, intensificaram-se as pesquisas para obtenção de diferentes produtos de termofosfato, no entanto, apenas dois destes – fosfato rhenania e fosfato magnésiano fundido - tiveram sucesso comercial em vários países como: Japão, China, Coreia do Sul, África do Sul e Brasil. Trata-se de um processo de consumo intensivo de energia, que resulta em elevados custos de produção. A opção pela rota térmica deverá trazer vantagens na utilização do produto, desde que se disponha de energia barata. De qualquer forma, deverá ser feito estudo de viabilidade econômica (Fertilizantes, 1979).

O mercado de fertilizante fosfático no País é suprido quase que exclusivamente pelos produtos resultantes da reação química entre a rocha fosfática e o ácido sulfúrico ou fosfórico para obtenção do superfosfato simples ou superfosfato triplo e os fosfatos de amônio (DAP ou MAP). Segundo a MITSUI, no Brasil, a produção de termofosfato, denominado Yoorim, corresponde a cerca de 3% da capacidade instalada para produção de fertilizantes fosfatados, com base em P_2O_5 .

O fosfato natural, enriquecido com silicato de magnésio (serpentinó), é fundido em forno elétrico, à temperatura de $1.500^{\circ}C$. O produto resultante e incandescente é submetido a um choque térmico (*quenching*) com água a $0^{\circ}C$. Na etapa seguinte é secado e acondicionado para expedição (Guardani, 1987).

O termofosfato magnésiano fundido é considerado, por agrônomos, como um dos poucos fertilizantes fosfatados a reunir a vantagem da liberação gradual dos nutrientes e a existência de Ca e Mg (Guardani, 1987).

O termofosfato Yoorin, comercializado no Brasil, contém teores totais na ordem de 19% de P_2O_5 , 26-30% de CaO, 14-18% de MgO e 25% de SiO_2 (Malavolta, 1981; Pereira, 2003 a).

Agenda de prioridades

Com a realização deste trabalho de pesquisa e com as sugestões levantadas por ocasião dos seminários realizados no CETEM (2009), é sugerida a seguinte agenda de prioridades:

Mapeamento geológico

Realizar mapeamento geológico, em escala adequada, das litologias que já são utilizadas em rochagem e daquelas que, pelas suas características químico-mineralógica, texturais e biológica ofereçam elevado potencial para remineralização de solos.

Realizar caracterização petrográfica, química e mineralógica de novos depósitos minerais que contenham nutrientes importantes para a agricultura, contribuindo para aprofundar o seu conhecimento geológico.

Estes estudos deverão priorizar as áreas às quais já se desenvolvem ou se desenvolveram atividades de mineração e garimpagem, cujos rejeitos seriam testados quanto ao conteúdo de nutrientes, o que traria vantagens, tanto sob o ponto de vista econômico, pois as rochas já estão extraídas e às vezes moídas, como ainda se contribuiria para diminuir o passivo ambiental.

Caracterização tecnológica

Desenvolver uma metodologia de caracterização cristaloquímica das rochas e minerais alternativos, de forma que se possa prever o grau de dificuldade para disponibilizar os nutrientes para a fertilização do solo.

Rochas portadoras de K_2O e P_2O_5

Priorizar para estudos de caracterização tecnológica e processamento, rochas de maior conteúdo em K_2O (verdete, fonolito, micaxisto, brechas alcalinas, kimberlitos, ultrabásicas alcalinas e carbonatitos) e P_2O_5 (Formação Pimenteira-PI, Serra da Saudade-MG e Campos Belos-GO.).

Estudar, também, o aproveitamento dessas rochas por aplicação direta (rochagem), com ou sem compostagem.

Produtos de potássio e fósforo

Realizar estudos de obtenção de produtos de K e P via térmica e hidrometalúrgica.

Biossolubilização de rochas fosfáticas e potássicas

Realizar estudos que contribuam para a biodisponibilização dos nutrientes P e K contidos em rochas fosfáticas (aluminofosfatos, apatita, fluorapatita) e silicáticas de potássio (verdetes, fonolitos e outras rochas alcalinas efusivas, kamafugitos), usando microorganismos selecionados.

Estabelecer acordos de cooperação científica/tecnológica com a Índia e China, na área de microbiologia voltada para fertilizantes.

Rochas e minerais carreadores de nutrientes

Estudar o processamento de rochas e minerais carreadores de nutrientes (zeólitas, atapulgita, vemiculita, pedra pome) por meio de beneficiamento físico, modificação química e saturação com os nutrientes K, P e N e outros do tipo cálcio, magnésio, enxofre, zinco, cobre, boro, molibdênio etc com foco no seu uso como fertilizantes de liberação lenta.

Rejeitos e resíduos industriais

Desenvolver pesquisa para o aproveitamento de rejeitos do processamento de rochas fosfáticas e da lavra e do beneficiamento de rochas ornamentais.

Oleaginosas

Estudar a aplicação de fertilizantes alternativos no cultivo de oleaginosas do tipo: pinhão manso, mamona, algodão, canola e girassol.

Biocombustíveis

Implementar políticas de maior integração da área mineral com os setores agrícola e de biocombustíveis.

Cana de açúcar

Estudar o uso de produtos obtidos de rochas e minerais alternativos como fertilizante, no cultivo da cana de açúcar, comparando o seu desempenho com aqueles obtidos com o uso dos fertilizantes convencionais.

Avaliação de impactos ambientais

A utilização de rochas, minerais e outros, como fontes alternativas de fertilizantes agrícolas, necessita de investigação cuidadosa dos possíveis contaminantes de toxicologia relevante. À guisa do bom exemplo, registra-se o caso das fibras minerais compostas por crisotila, actinolita, tremolita, materiais radioativos, metais pesados, incluindo-se, entre outros, Cr, As e Hg. Desse modo, previnem-se a contaminação de áreas agricultáveis, dos produtos agrícolas, bem como os consequentes riscos ambientais e ocupacionais à saúde humana.

Normalização de padronização

Estudar a normalização, padronização e especificação de rochas e minerais industriais alternativos para a produção de fertilizantes.

Glossário

Ácidas (rochas) – Em petrografia, a palavra ácida refere-se aos teores de SiO_2 (sílica) nas rochas: ácidas, 65-80% (granito/riolito); sub-ácidas, 60-65% (sienito); sub-básicas, 55-60%; (diorito) básicas, 55-45% (gabro/basalto); ultra-básicas, <45% (piroxênio).

Basalto - Rocha vulcânica de cor escura, densidade próxima de 3, composta essencialmente de plagioclásio cálcico, piroxênio e olivina. A decomposição dessa rocha forma uma argila e solos férteis, como a terra roxa, da região Sul do Brasil.

Brechas - Rochas formadas de fragmentos angulosos e de tamanho sempre superior ao de grãos de areia ligados por um cimento natural. São diversas, pela natureza dos fragmentos constituintes e do cimento, e também pela origem, tendo em comum a sua estrutura. Por ex., brechas vulcânicas são formadas pela cimentação de piroclastos, bombas e lapillis envolvidos por cinzas vulcânicas. Brecha alcalina – quando apresenta baixos teores de sílica e elevados de álcalis.

Carbonatito – Rocha, de origem ou filiação magmática, com mais de 50% de carbonatos. Podem ser, calcíticos, dolomíticos, ferro-dolomíticos, ankeríticos e até sódicos, como em Oldoinyo Legai (Tanzânia).

Compostagem - É o processo de transformação de materiais como palhada e estrume, em materiais orgânicos utilizáveis na agricultura, na forma de adubo orgânico. Este processo inclui transformações de natureza bioquímica, promovidas por microorganismos do solo que têm na matéria orgânica, *in natura*, sua fonte de energia, nutrientes minerais e carbono.

Diorito - Rocha ígnea plutônica saturada (quartzo ausente ou subordinado) tendo como componentes essenciais, plagioclásio Na-Ca (oligoclásio a andesina), K feldspato subordinado e minerais ferromagnesianos, piroxênio/hornblenda e biotita.

Dolomito - rocha sedimentar com mais de 50 % de seu peso constituído por dolomita, um carbonato duplo de cálcio e magnésio, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Os dolomitos formam-se pela precipitação direta e, ainda, por substituição total ou parcial da calcita pela dolomita. Na agricultura é usada como corretivo da acidez do solo e na sua remineralização.

Feldspatóide - constituem um grupo de minerais, próximos dos feldspatos, diferindo destes pelo mais baixo conteúdo de sílica. Substituem os feldspatos em rochas sub-saturadas em sílica. Incluem-se neste grupo: nefelina, analcima, cancrinita, hauynita, noseana e sodalita

Félsico - Termo utilizado para minerais silicatados, magmas e rochas, ricos em elementos leves como o silício, oxigênio, alumínio, sódio e potássio. Este termo é uma combinação das palavras feldspato e sílica. Os minerais félsicos, geralmente de cor clara, mais comuns são o quartzo, a moscovita, ortoclásio e os feldspatos da série dos plagioclásios.

Fonolito – A rocha produz sons quando percutida. Rocha vulcânica alcalina, subsaturada em silício, contendo essencialmente feldspato alcalino e feldspatóides. É o equivalente vulcânico do nefelina sienito.

Gabro - é uma rocha intrusiva de cor escura e granulação grossa, composta predominante por plagioclásio básico (labrador – bytownita), clinopiroxênio (augita), com ou sem olivina.

Gesso agrícola – Produto utilizado na agricultura, com especificações granulométricas e químicas, que pode ser de origem mineral (gipsita ou gesso natural) como química (fosfogesso e outros gessos industriais ou residuais). O gesso agrícola possui um teor de CaO entre 28 e 30% e é muito usado na manutenção de pastagens e correção de acidez de solos e em cultura que exigem CaO, como o amendoim.

Gesso - designa tanto o gesso natural (gipsita) como o produto calcinado e ainda os gessos residuais resultantes de algumas indústrias, dentre as quais o principal é o fosfogesso, pelas enormes quantidades geradas.

Granodiorito – Rocha ígnea semelhante ao granito, mas contendo mais plagioclásio do que feldspato alcalino. Apresenta geralmente hornblenda e biotita, em abundância, o que lhe confere uma aparência mais escura que a do granito.

Kalsilita - Mineral do grupo dos feldspatóides: $K[AlSiO_4]$ sua composição química é K_2O 47,04%; H_2O 9,00%; CO_2 43,96%. Mineral encontrado em rochas vulcânicas e subvulcânicas, alcalinas potássicas. É um constituinte importante de uma parte de algumas lavas ricas em K, ocorrendo também em fenocristais complexos de nefelina/kalsilita, de algumas lavas menos ricas em K. A kalsilita é desconhecida em rochas plutônicas. O mineral é usado na fabricação de vidros, cerâmica, dentre outros.

Kamafugito – É um termo coletivo que engloba rochas vulcânicas, máficas e ultramáficas (ugandito, mafurito e katungito), subsaturadas em SiO_2 , em que as fases félsicas são feldspatóides potássicos (leucita, kalsilita).

Kimberlito – Peridotito alcalino contendo abundantes fenocristais (cristais bem desenvolvidos) de olivina (freqüentemente serpentizada) e flogopita (freqüentemente cloritizada) numa matriz de granulometria fina constituída por calcita, olivina de segunda geração e flogopita, sendo acessórios, ilmenita, serpentina, clorita, magnetita e perovskita ($CaTiO_3$)

Leucita - $KAlSi_2O_6$, é um silicato de alumínio e potássio constituída por K_2O 21,5%; Al_2O_3 23,5%, SiO_2 55%. Pode estar associada a sanidina, olivina, albita, egirina. É um feldspatóide característico de lavas básicas alcalinas, ricas em K, tais como basanitos leucíticos, tefritos leucíticos, basaltos leucíticos-meliliticos, ancaramitos, fonólitos, tinguitos etc.

Leucocráticas (rochas) – Rochas de cor clara. Ex.: granitos, sienitos, nefelina sienitos. Nestas rochas predomina a ocorrência de minerais félsicos.

Máfico - Designação dada em geologia a qualquer mineral ou rocha ígnea (vulcânica ou intrusiva) rica em elementos químicos pesados, nomeadamente em compostos ferromagnesianos, e pobres em sílica. Quando os compostos ferromagnesianos são muito abundantes, as rochas são referidas como ultramáficas. O vocábulo *máfico* deriva da aglutinação de *magnésio* e *ferro* (magnésio + ferro + sufixo ico).

Melanocráticas (rochas) – Rochas de cor escura. Ex.: gabros, piroxenitos, peridotitos

Microclíneo - Mineral do grupo dos feldspatos de composição semelhante ao ortoclásio, com geminação cruzada.

Nefelina sienito – Rocha plutônica subsaturada, composta essencialmente por feldspato alcalino e nefelina, podendo conter um mineral ferro-magnesiano- anfibólio ou piroxênio.

Picrito – rocha básica rica de olivina

Quartzodiorito - Rocha plutônica saturada a supersaturada com quartzo (5 a 20%), tendo como componentes essenciais, plagioclásio Na-Ca (oligoclásio a andesina), feldspato K subordinado e minerais ferromagnesianos ortopiroxênio/hornblenda e biotita.

Riodacito – Rocha ígnea efusiva equivalente ao quartzodiorito

Riolito - termo genérico para rochas vulcânicas silicáticas porfíricas com fenocristais de quartzo e feldspatos alcalinos em massa microcristalina ou vítrea e quimicamente correspondente ao granito.

Rochas alcalinas – São rochas formadas por magmas e fluidos enriquecidos em álcalis, que dão origem a minerais de Na e K, tais como feldspatóides, egirina etc.

Rochas máficas – Rochas compostas por minerais de cor escura (ferro-magnesianos)

Rochas ultramáficas alcalinas – Rochas compostas essencialmente por minerais máficos e feldspatóides.

Saprolito – Rocha intemperizada que ainda mantém a estrutura da rocha inalterada.

Serpentinito – Rocha metamórfica constituída quase totalmente por minerais do grupo da serpentina, de cor verde escura, e, com frequência, derivada da alteração de peridotitos. Na agricultura podem ser utilizados como fontes de fertilizantes alternativos na calagem de solos e no fornecimento de micronutrientes.

Sienito - O sienito é uma rocha granular, de cor clara e textura uniforme. É composta basicamente por feldspato potássico e pouco oligoclásio. A alteração supérgena desta rocha pode gerar bauxita. A rocha assemelha-se a um granito, contudo possui menos quartzo. É intrusiva, e seu correspondente efusivo é o traquito.

Traquito - Rocha vulcânica constituída essencialmente por feldspato alcalino (sanidina, ortoclásio) e quantidades menores de plagioclásio (oligoclásio). Pode haver albita em álcali traquitos, biotita, hornblenda, quartzo, anfibólios sódicos e piroxênios em álcali-traquitos.

Ugandito – Rocha ultramáfica alcalina com altos teores de K e baixos de Si; formada por olivina, clinopiroxênio e leucita, kalsilita

Referências bibliográficas

- A. BETEKHTIN. A. Course of Mineralogy, p.531, traduzido pelo Editor A. Gurevich.
- ABRACAL (MAPA 2006): Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola, www.sindicalc.com.br/
- APARECIDA DA SILVA, E., CASSIOLATO, A. M. R, MALTONI, K. L., SCABORA, M. H.(2008).Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. In: R. Arvore, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.323-333, 2008.
- ASTLEI, V e HILTON, J. (2006) – Phosphogypsum: to stack or not to stack, that is the perception. Seminário Internacional sobre Usos do Fosfogesso, Belo Horizonte.
- BARBOSA, R.C. (2006) – Formação de kimberlitos diamantíferos em Minas Gerais, Avulso, UFMG.
- BEZERRA, M. S. (2009). Rochas e minerais alternativos, bem como suas rotas tecnológicas para bicombustíveis – RT2009-0051-00: Relatório Técnico Elaborado para o Estudo Prospectivo dos Agrominerais/CTMineral.
- CURIMBABA, G. *et al.* (2009) – Fonolito como substituto do cloreto de potássio e/ ou outras fontes de potássio na agricultura e pecuária no Brasil. 1º Congresso Brasileiro de Rochagem, Brasília, setembro de 2009.
- EMBRAPA SOLOS (1999). Sistema brasileiro de classificação de solos, Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- FERTILIZANTES-(1979). Termofosfatos. Tecnologia, Fertilizantes nº3, p. 3 – 8.
- FYFE WS, LEONARDOS, OH, THEODORO, SH.(2006). *Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution*. Anais Acad. Bras. Ciências. 2006 Dec;78 (4):715-20.
- GASPAR, J. C. & DAMI, J. C. M (1981). Aspectos petrográficos e vulcanológicos da província alcalina-carbonática de Santo Antônio da Barra, sudoeste de Goiás, Ver Bras de Geoc., 11: 74-83.
- GOMIDE, C. S. BROD, J. A. PALMIERE, M., SANTOS, R. V.,JUNQUEIRA-BROD, T. C, MARCHAO, M. O.,SILVA. P. G.N. BRAGA, L. M. V., PAULINO, F. SILVEIRA, D. A. (2008) – Estudo preliminar de isótopos estáveis de carbono e oxigênio na associação kamafugito-carbonatito-foscorito da Província Ígnea do Alto Paranaíba. IV Simpósio de Vulcanismo e ambientes associados, Foz do Iguaçu-PR.
- GUARDANI, R. (1987) Transformações térmicas e solubilidade de fosfatos de alumínio dos estados do Pará e Maranhão. Fertilizantes, CEFER –Centro de Estudos de Fertilizante – Vol. 9 nº 2, Jul/Dez 1987-ISSN 0100-6274.
- GUARDANI, R. (1987). Termofosfato magnesiano fundido: novos desenvolvimentos na tecnologia de produção, Fertilizantes, vol. 9, nº 1, Jan-Jun, 1987.
- IFA / FAO (2002) - Los Fertilizantes e su Uso.
- IPI – (1994) Fertilizing for High Yield – Sugarcane (Adubação para altas Colheitas: Cana-de açúcar) – tradução e revisão de E. Malavolta
- JUNQUEIRA-BROD, T.C. (2002) – A Província Alcalina de Goiás e a extensão do seu vulcanismo kamafugítico. Rev. Bras. De Geociências, v.32, n.4, p.559-566.
- KNAPI, J. G.(2005). Utilização de Pó de Basalto como Alternativa à Adubação Convencional na Produção de Mudanças de Mimosa Scabrella BENTH e Pronus Sellowi KOEHNE. Dissertação de Mestrado, UFPR

- LAPIDO-LOUREIRO, F. E. e NASCIMENTO. M.(2009 b) – O gesso nos agrossistemas brasileiros: fontes e aplicações. In: Fertilizantes-Agroindústria e Sustentabilidade, cap. 15, p.445-477, CETEM/PETROBRAS.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E. e NASCIMENTO. M.(2009 a). Importância e Função dos Fertilizantes numa Agricultura Sustentável e Competitiva. In: Fertilizantes-Agroindústria e Sustentabilidade, cap. 2, p.81-132, CETEM/PETROBRAS, 2009.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. editores (2009) – Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade CETEM/PETROBRAS, 655p.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E.(1995). A Megaprovincia Carbonatítica Brasil-Angola e seus Recursos Minerais. Tese de doutorado, Universidade de Lisboa.
- LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S.; KROMBERG, B (1976). Rochagem: método de aumento de fertilidade em solos lixiviados e arenosos. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29., 1976, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte, 1976. p. 137-145.
- LEVINSON, A.A. (1974) – Introduction to exploration geochemistry. Applied Publ. Ltd. Wilmette, Illinois, USA, 614p.
- LIMA, O.N.B., UHLEIN, A. e BRITTO, W. (2007) – Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático de Cedro do Abaeté, Minas Gerais. Ver. Brás. De Geociências 37 (4º suplemento), p. 204-215, dez. 2007.
- LUZ, A. B. (1994). Zeólitas. Série Tecnologia Mineral nº 68/CETEM, 1994.
- MALAVOLTA, E. (1981). Manual de Química Agrícola: Adubos e Adubação. 3.Ed. São Paulo: Editora Agrônoma Ceres, 1981. 596 p.
- MALAVOLTA, E. (1992) – O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta – perguntas e respostas. II Seminário Sobre o Uso do Gesso na Agricultura, IBRAFOS,1992.
- MARTINS, E. S., OLIVEIRA, C. G. , RESENDE, A. V., MATOS, M. S. F. (2008). Agrominerais – Rochas Silicáticas como Fontes Minerais Alternativas de Potássio para Agricultura. In: Rochas e Minerais Industriais – Usos e Especificações, p.205-221, Editores: Adão B. Luz e Fernando Lins.
- MITSUI-Termofosfato Magnésiano Yoorim (www.fertmitsui.com.br.php?page=produtos/yoorim_manual).
- MONTE, M. B. M. , PAIVA, P. R. P., BERNARDI, A C. C., WERNECK, C. G. , BARROS, F. S., AMORIM, H. S., RESENDE, N. G. A. M., HAIN. P. G. (2004). Teores e extração de N, P e K pelo tomate cultivado em substrato com zeólita. In FERTIBIO, 19-23 de julho, Lages, SC, 4p.
- MONTE, M. B. M. , PAIVA, P. R. P., BERNARDI, A C. C., WERNECK, C. G. , BARROS, F. S., AMORIM, H. S., RESENDE, N. G. A. M., HAIN,P. G. (2006). Produção, aparência e teores de nitrogênio, fósforo e potássio em alface cultivado em substrato com zeólita. Comunicação técnica elaborada para a revista Horticultura Brasileira, vol. 23, nº 04, out/dez 2006, rio de Janeiro CETEM, P. 920-924.
- PAÇÔ, I. B., OLIVERIA, S. A. (2009). Eficiência agrônômica de fosfatos de rocha Itafós, utilizados isoladamente ou associados ao superfosfato simples, no oeste da Bahia, para a cultura da soja; Primeiro Congresso Brasileiro de Rochagem, Brasília-DF, setembro/2009, www.congressorochagem.com.br.
- PAIVA, P. R. P., MONTE, M. B. M, DUARTE, A. C. P.,SALIM, H., BARROS, F.S., HAIN, P. G. (2004). Avaliação agrônômica de substratos contendo zeólita enriquecida com nitrogênio, fósforo e potássio. Comunicação Técnica elaborada para o Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Solos, nº 57, dez.2004, Rio de Janeiro: CETEM, 5-28
- PAIVA, P. R. P., MONTE, M. B. M., BARROS, F. S., MORIM, H. S., BERNARDI, A. C. C., RESENDE, N. G. A. M. (2005). Composição Mineral Zeolítica, Processos de Modificação e Utilização. PI 0503121-4.

- RESENDE, N. G. A. M., MONTE, M. B. M. PAIVA, P. R. P. (2008). Zeólitas Naturais. In: Rochas e Minerais Industriais – Usos e Especificações, p.889-915, Editores: Adão B. Luz e Fernando Lins.
- SÁ FILHO, R.J. (2006) – Minerais e Agricultura. [www.google.com.br] => Milonitos de Ipirá – Naturalplus.
- SHINTAKU & SHINZAT, (2009). Centro Nacional de Pesquisa de Solos-CNPS da Embrapa, Manual de 1997.
- SILVA, L. H. da C. (1997) - Aspectos econômico-ambientais do uso de fosfogesso na agricultura. Dissertação de Mestrado – UFRJ/COPPE, março de 1997.
- SILVA, M. N., PINHEIRO, L. O. D., LUZ, P. O. (1976). Possibilidades de aproveitamento industrial dos minérios fosfáticos do norte e nordeste do Brasil. In: Anais do IV Encontro de Tratamento de Minérios, São José dos Campos-SP, 2 a 6 de maio de 1976, p.66-74.
- SOUEIRO DA SILVA, A. A. (2009). Caracterização de flogopitito da Bahia para uso como fertilizante alternativo de potássio. Dissertação de Mestrado, Instituto de Química da UFRJ, 73 p.
- SOUZA, C. M. (2005) – O uso do fosfogesso na agricultura. Workshop "Tecnológicos para Reaproveitamento do Fosfogesso", Belo Horizontes, 07/12/2005.
- TAVARES, E. G. B., CASTILHOS, Z. C. LUZ, A. B.; FRANÇA, S. C. A., Cesar, R.G (2009). Potencial de aplicação dos serpentinitos como insumo na agricultura sustentável. XVII Jornada de Iniciação Científica do CETEM. p. 41-470
- THEODORO, Suzy, LEONARDOS O.H. (2006). The use of rock to improve family agriculture in Brazil, Anais Acad. Bras Ciências. 2006 Dec;78(4):721-30.
- THORP, R. & BROWN, G. (1985). The Field Description of Igneous Rocks. Geol. Soc. London, Hand Book Series.
- TOMAZ, C.A. (2006) – The production of phosphoric acid and phosphogypsum by brazilian industries. Seminário Internacional sobre Usos do Fosfogesso, CNEN/CDTN, Belo Horizonte.
- TRATZ, E. B., TOMAZZOLI, E. R. & SILVA, G. N. FILHO (2008) – Utilização agrícola das rochas vulcânicas ácidas tipo Chapecó da província magmática Paraná, em Guarapuava (PR), IV Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, Foz do Iguaçu, PR-2008.
- UGARTE, J. F., SAMPAIO, J. A., FRANÇA, S. C. A. (2008). Vermiculita. In: Rochas e Minerais Industriais-Usos e Especificações, p.865-887, Editores: Adão B. Luz e Fernando Lins, CETEM.
- UN-Energy - Sustainable Bioenergy: A Framework for Decision Makers [www.fao.org/docrep/].
- Van STRAATEN, P (2007). Agrogeology - The use of Rocks for Crops. Univ. of Guelph, Guelph, Ontario - Canada, 440 p.
- VITTI, G. C. (2006). Nutrição e adubação de cana-de açúcar. III Simpósio de Tecnologia de Produção de Cana-de-Açúcar. ESALQQ-USP

ANEXO

Áreas prospectivas para rochas fertilizantes silicatadas multinutrientes

NR	UF	Litoestratigrafia	Localização
11	MA	Anfibolito filito xisto verde	Região Gurupi
12	MA	Biotita monzo granito	Região de Cantão
13	PI	Basalto e diabásio, intrudidos em sedimentos cretáceos da formação Sardinha.	Extremo norte do estado, oeste da rodovia Piracura/Buriti Lopes
14	PI	Biotita, sienito, anfibólio da suíte intrusiva Caboclo.	Entre Queimada Nova e Cel. Jose Dias e ao norte de Curral Novo.
15	PI	Serpentinito e gabro em corpos ultra máficos.	Campo Alegre do Fidalgo.
16	PI	Corpos ultramáficos que bordejam a Bacia do Parnaíba.	Limites do PI com estados de PE, CE e BA
17	CE	Metagabro e meta ultramáficas serpentinizados, meta calcários, rochas calcissilicáticas e ferro magnesianas.	Região de Canindé, Parambu, Independência, Sobral e Amon-tada.
18	CE	Micaxisto grafitoso, anfibolito, rochas calcissilicáticas e ferro magnesianas.	Acopiara, Banabuiu
19	CE	Meta gabro, meta basalto, meta ultra máficas, meta tufos.	Região central do estado, Moim-baça e Pedra Branca.
110	CE	Micaxistos, meta carbonatos, rochas calcissilicáticas, meta ultramáficas, serpentinitos e talco xistos.	Granjeiro e Aurora
211	CE	Suíte ultrapotássica peralcalina com granodiorito a biotita e piroxênio.	Região de Jardim e Brejo Santo
212	CE	Suíte granítica shoshonítica ultra potássica com sienito e piro-xenito,	Região de Jati.
213	RN	Enxame de diques soleiras máficas com anfibolitos portadores de Fe, Ca, Mg, Na e K	Entre São Pedro e Eloi de Souza
214	RN	Gabro, monzonito com biotita, anfibólio e piroxenio	Totoró região de Currais Novos
215	RN	Monzo e sienogranito com biotita, anfibólio e mega cristais de feldspato K	Região de Umarizal, extremo oeste do estado.
216	RN	Basalto e diabásio	Ceará Mirim
217	RN	Diabásio (derrames)	Serra do Cuó, a leste de Açú.
218	RN	Basalto e rochas alcalinas	Próximo a Macau
219	RN	Corpos mataultrabásicos aos quais se associam clorita talco xisto, serpentina tremolita, com flogopita e vermiculita – MgO (26 a 32%) e Fe ₂ O ₃ (2 a 10%). Produção de talco.	Mina Bonfim em Lajes e entre Ouro Branco e Caicó
220	RN	Flogopita tremolita mármore com calcita (66%), tremolita (10%), flogopita (8%), plagioclásio (8%) e quartzo (5%).	Barra do Rio, a sudoeste de São José do Seridó
321	RN	Rochas carbonatadas em contato com escarnitos hospedeiros de mineralização de xilita, contendo molibdenita, calcita, dolomita, vesuvianita, biotita, epidoto, quartzo, feldspato, turmalina, granada e fluorita Produção de xilita.	Região de Currais Novos
322	PB	Rochas máficas com "skarns" mineralizados em apatita	Região de Sumé
323	PB	Basalto e diques sieníticos ultra potássicos.	Entre Princesa Izabel e Manaíra
324	PB	Serpentinito em rocha ultra máfica	Mãe d'água, na região do Piancó.
325	PB	Rocha ultra máfica com vermiculita como produto de alteração. Mina de vermiculita em atividade.	Na região de Santa Luzia e Casse-rengue.
326	PB	Tufo pórfiro que recobre os sedimentos da formação Gramame	Zona da mata sul do estado.
327	PB	Basalto sob a forma de diques e derrames com tipos vítreos na porção superior.	Região de Boa Vista.
328	PE	Rochas máficas intercaladas com gnaisses mineralizadas em Fe, Cr, Ti	Entre Parnamirim e Bodocó
329	PE	Rochas ultramáficas do complexo Monte Orebe	Município de Afrânio
330	PE	Rocha máfica de composição basáltica.	Região de Pedras Pretas em Floresta.



NR	UF	Litoestratigrafia	Localização
431	PE	Basalto, riolito e tufo na Bacia do Cabo, com teor de até 14% de K ₂ O	Cabo e Ipojuca
432	PE	Sienito com biotita e enclaves de rochas máficas.	Alto Pajeú e Bom Jardim.
433	AL	Rocha ultra máfica	Entre Pão de Açúcar e Piranhas.
434	AL	Serpentinito e biotita xisto associados a rochas máficas. Produção de farinha de rocha.	Serrote das Lajes, Jaramataia, noroeste de Arapiraca
435	AL	Sienito com feldspato potássico e biotita.	Entre Limoeiro de Anadia e Jaramataia.
436	SE	Basalto, riolito e diabásio com plagioclásio e material carbonático.	Entre Arauá e Tanque Novo.
437	SE	Gabro, norito em rochas ultra máficas com Cu, Ni, Fe e Ti.	Canindé do São Francisco.
438	SE	Sienito com fragmentos máficos e xenólitos de calcário.	Curituba.
439	BA	Sienito e monzonito	Serra do Catu próximo a Curituba
440	BA	Diabásio	Município de Cel. João Sá
541	BA	Rochas máficas – diabásio e gabro	Região de Curaçá e Caraíba
542	BA	Diabásio e gabro alcalino	Chapada Diamantina
543	BA	Corpos ultra máficos com serpentinito relacionados a pegmatitos e flogopitito encaixante das esmeraldas em exploração.	Serra da Jacobina (Carnaíba e Socotó)
544	BA	Diabásio e gabro	Uauá e Caratacá
545	BA	Corpos máficos e ultra máficos	Vale do Curaçá.
546	BA	Corpos máficos e ultra máficos	Mirabela e Palestina
547	BA	Meta vulcanito máfico com meta dolomito e filito	Baixo rio Salitre
548	BA	Meta vulcanito máfico com meta dolomito e filito	Região de Sobradinho
549	BA	Diabásio, gabro	Brotas de Macaúbas e Vale do Paramirim
550	BA	Sienito peralcalino com biotita, anfibólio, piroxênio	Campo Alegre de Lourdes
651	BA	Carbonatito com albita, apatita, biotita e magnetita	Angico Dias
652	BA	Rochas máficas e ultra máficas com piroxenito e magnetita	Rio do Peixe
653	BA	Rochas ultra máficas mineralizadas em cromita, em produção.	Vale do Jacurici e serra do Cantagalo
654	BA	Meta vulcânicas máficas e calcissilicáticas em <i>greenstone</i> .	Rio Capim
655	BA	Basalto, formação ferrífera, filito em <i>greenstone</i>	Rio Itapicuru
656	BA	Serpentinito, talco xisto em corpos ultra máficos	Açude das Pedras
657	BA	Serpentinito, anfibolito, talco xisto em corpos ultra básicos, com mineralização de cromo, em exploração.	Campo Formoso
658	BA	Basalto anfibolitizado e cloritizado em diques máficos.	Entre Juazeiro e Sobradinho.
659	BA	Gabro, piroxenito, ilmenita e apatita em complexo ultra máfico mineralizado com Fe, Ti, V.	Campo Alegre de Lourdes.
660	BA	Complexo metamórfico máfico-ultra máficos, serpentinizados com vermiculita alterada da biotita. Produção de vermiculita.	Brumado

Fonte: Elaboração dos autores. CPRM/CBPM.



MATERIAIS SILICÁTICOS COMO FONTES REGIONAIS DE NUTRIENTES E CONDICIONADORES DE SOLOS

EDER DE SOUZA MARTINS¹, ÁLVARO VILELA DE RESENDE², CLAUDINEI GOUVEIA DE OLIVEIRA³,
ANTONIO EDUARDO FURTINI NETO⁴

Introdução

O Brasil apresenta uma dependência de fertilizantes que limita a sustentabilidade de sua agricultura (Lapido-Loureiro e Nascimento, 2003; Lapido-Loureiro *et al.*, 2009). Os dados mostram que 70% do total dos fertilizantes produzidos no país são derivados de Fontes Convencionais de Nutrientes (FCN) importadas, compostas essencialmente de variantes de NPK, de elevada concentração e alta solubilidade (Rodrigues, 2009, 2010). De forma específica, a utilização destas fontes importadas na produção de biocombustíveis líquidos compete com a produção de alimentos (Sparovek *et al.*, 2008). A crise relacionada com o aumento de preço das matérias primas em 2008 também agravou este quadro em relação aos aspectos econômicos (Rodrigues, 2010).

Estes fatos fragilizam o posicionamento do Brasil em relação à sustentabilidade de seu programa de produção de biocombustíveis líquidos em substituição às fontes de energia fóssil (Sparovek *et al.*, 2008) e coloca um desafio na prospecção de soluções alternativas neste setor (Lapido-Loureiro *et al.*, 2009). Várias opções estão sendo avaliadas em relação à viabilidade agrônômica e econômica, considerando-se as seguintes abordagens: manejo de fertilizantes; desenvolvimento de tecnologia de fertilizantes com controle de solubilidade de FCN; e desenvolvimento de Fontes Alternativas de Nutrientes (FAN).

O manejo de fertilizantes é uma das alternativas fundamentais para o uso racional das FCN (Dibb, 2000). Vários estudos mostram que a utilização dos fertilizantes no Brasil não é feita de forma racional, geralmente com uso excessivo de alguns e falta em outros nutrientes (Ceretta *et al.*, 2007; Prado *et al.*, 2007, 2008). A própria calagem não é utilizada em quantidade e de forma correta. Os principais motivos para o uso incorreto dos fertilizantes estão relacionados com a falta de transferência de tecnologia e a aspectos culturais da prática do produtor agrícola. O sucesso desta abordagem depende de um programa a ser desenvolvido como política pública para a avaliação e o monitoramento da fertilidade atual dos solos agrícolas, assim como de uma assistência técnica efetiva ao produtor agrícola em relação às indicações de adubação.

O avanço da tecnologia de fertilizantes mostra um potencial de modificação das matrizes das FCN a partir de materiais redutores de cinética e da integração com fontes de material orgânico. O desenvolvimento tecnológico dos materiais redutores de cinética ainda está na fase mais básica (Shaviv, 2001), mas constitui um caminho promissor para o uso racional das FCN em condições tropicais (Bernardi *et al.*, 2004, 2007). A integração das FCN com material orgânico apresenta maior viabilidade para aplicações em curto prazo, especialmente pela maior simplicidade dos processos de produção (Benedito *et al.*, 2010; Benites, 2009).

As FAN, que geralmente são os materiais silicáticos e os orgânicos com uso potencial na agricultura, apresentam características e atributos em geral bem diferenciados em relação às FCN (Leonardos *et al.*, 1987, 2000; Martins *et al.*, 2008; Martins e Theodoro, 2010; Resende *et al.*, 2006a). O uso mais generalizado das FAN sempre foi limitado pelo conceito de fertilização que privilegia fontes solúveis e de elevada concentração, além dos baixos custos das FCN antes da crise de 2008. O quadro atual de custos elevados coloca

¹ D.Sc. Universidade de Brasília (UnB). Embrapa Cerrados. E-mail: eder@cpac.embrapa.br

² D.Sc. Universidade Federal de Lavras (UFLA). Embrapa Milho e Sorgo. E-mail: alvaro@cnpmc.embrapa.br

³ D.Sc. Universidade de Brasília (UnB). Universidade de Brasília – UnB. E-mail: gouveia@unb.br

⁴ D.Sc. Universidade Federal de Viçosa (UFV). Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: afurtini@dcs.ufla.br

uma oportunidade para discussão do paradigma ainda vigente de uso exclusivo das FCN na fertilização de solos.

De forma específica, os materiais silicáticos apresentam potencial como fonte de nutrientes minerais e como condicionador do solo (Stewart, 1975; Straaten, 2006, 2007). Os macronutrientes mais importantes encontrados nestes materiais são o potássio e o fósforo. Ocorrem também nutrientes secundários essenciais, como o cálcio, magnésio, o silício e o enxofre (Straaten, 2006, 2007; Luz *et al.*, 2010). Os micronutrientes ocorrem nos materiais silicáticos em proporções geralmente equilibradas (Leonardos *et al.*, 1987). Estes materiais são fontes de liberação controlada e este processo gera minerais que melhoram a qualidade do solo (Straaten, 2010).

O presente capítulo discute o uso potencial de materiais silicáticos como FAN para a agricultura brasileira, em especial na sustentabilidade da produção de biocombustíveis líquidos.

Paradigmas na utilização de fertilizantes

O paradigma atual preconiza a utilização das FCN em função das altas concentrações e à elevada solubilidade dos nutrientes. As altas concentrações permitem o transporte a baixo custo em distâncias intercontinentais. A elevada solubilidade das FCN favorece a disponibilidade dos macronutrientes para as plantas cultivadas. Este conceito foi empregado com sucesso na variante brasileira da Revolução Verde (Paterniani, 2001), que possibilitou a produção agrícola em solos tropicais profundos e muito pobres em nutrientes, em especial no Bioma Cerrado a partir da década de 1970 (Shiki *et al.*, 1997), aliado ao uso do calcário agrícola na correção da acidez e na diminuição da saturação por alumínio (Goedert, 1989).

Outro fator importante que compõe este paradigma e que perdurou até o início da década de 2000, foi o baixo custo destas matérias primas (Rodrigues, 2009; Manning, 2010a, b). A crise de 2008 marcou uma ruptura dos custos das FCN, que mesmo depois da fase aguda retornaram acima dos valores históricos e sem perspectivas de alterações (Manning, 2010a). Somente a partir desta crise existe uma prospecção efetiva de alternativas a este modelo. A principal explicação para esta mudança brusca nos custos das FCN estão relacionadas a elevação de demanda dos fertilizantes (Rodrigues, 2009, 2010), além da concentração das empresas detentoras da produção e comercialização no mundo (Benetti, 2002, 2004; Kulaif, 1997, 1999). No Brasil, a situação é mais grave devido a impossibilidade de aumento no curto prazo da produção de FCN a partir de novas jazidas brasileiras de gás natural (N), de fosfato (P) e de potássio (K), apesar de seu potencial mineral (Rodrigues, 2010).

Aliado a estes fatores econômicos e de disponibilidade de matérias-primas, as FCN apresentam algumas desvantagens em seu comportamento em clima tropical relacionadas às elevadas temperaturas e precipitação pluviométrica, além das características intrínsecas dos solos (Fyfe *et al.*, 2006; Leonardos *et al.*, 1987, 2000). O nitrogênio na forma de uréia apresenta grandes perdas por volatilização (Bernardi *et al.*, 2004, 2007). O potássio na forma de cloreto apresenta elevada mobilidade química e física por movimentação em solução e por erosão (Bertol *et al.*, 2007; Hernani *et al.*, 1999; Izidorio *et al.*, 2005), com maiores agravantes em solos arenosos e de textura média (Rosolem *et al.*, 2005). Os fosfatos solúveis são parcialmente adsorvidos em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, abundantes em solos tropicais (Fontes e Weed, 1996; Novais e Smyth, 1999; Valladares *et al.*, 2003).

Estas características negativas dos fertilizantes solúveis foram percebidas e diversas linhas de pesquisa são desenvolvidas para a adaptação às condições tropicais, relacionadas especialmente ao manejo racional dos fertilizantes nos sistemas agrícolas, além de processos para controlar a taxa de liberação para adaptar às condições tropicais (Bernardi *et al.*, 2004, 2007; Monte *et al.*, 2009). O manejo racional de fertilizantes geralmente não é aplicado plenamente pelo agricultor, apesar da disponibilidade tecnológica (Lopes *et al.*, 1998; Ceretta *et al.*, 2007; Sousa e Rein, 2009) e os processos para a liberação controlada de nutrientes apresentam custos ainda muito elevados (Blaylock *et al.*, 2005; Shaviv, 2001). Destaca-se uma grande inovação realizada na agricultura brasileira que foi a diminuição da demanda de N, especialmente na cultura da soja, pela inoculação de microrganismos fixadores deste nutriente (Hungria *et al.*, 2001).

Pesquisas recentes buscam alternativas semelhantes para a cultura da cana-de-açúcar *canuto *et al.*, 2003; Reis Jr. *et al.*, 2000)

Outra limitação importante das fontes solúveis é a ausência de outros nutrientes minerais em sua composição (Fyfe *et al.*, 2006; Leonardos *et al.*, 2000). Várias culturas apresentam desequilíbrios nutricionais e maior sensibilidade ao ataque de pragas e doenças por este motivo. Aliado aos desequilíbrios nutricionais, pode ocorrer o “consumo de luxo” das culturas, pois neste modelo de fertilização pode ocorrer o acúmulo dos nutrientes na planta sem refletir em aumento de produção (Bataglia, 2005; Kaminski *et al.*, 2007; Rende *et al.*, 2006b).

Uma solução para esta crise é a substituição, pelo menos das FCN para as FAN. Neste caso, ocorre uma mudança radical nos conceitos do novo paradigma (Fyfe *et al.*, 2006). Na prática, a principal delas é a transição do uso de matérias primas globalizadas (FCN) para matérias primas regionais (FAN).

No novo paradigma, as características das FAN apresentam vantagens relativas ao modelo anterior das FCN:

- a grande abundância e a ocorrência bem distribuída no território nacional permitem a utilização regional das FAN, da mesma forma que o calcário agrícola.
- a baixa solubilidade das FAN racionaliza o uso dos nutrientes pelas plantas e diminui no médio e longo prazo a necessidade de utilização de nutrientes solúveis pelo aumento sustentável da fertilidade do solo e o efeito residual.
- o baixo custo de produção e a simplicidade do processo produtivo permitem o desenvolvimento de uma mineração de pequeno porte, da mesma forma que as produtoras de calcário agrícola.
- a elevada complexidade composicional é caracterizada por uma diversidade de minerais em diferentes proporções e permite a recuperação gradual da fertilidade do solo pelo intemperismo destes mesmos minerais.
- o efeito condicionador do solo é produto da formação de novas fases minerais com elevada superfície específica e carga superficial, derivadas do intemperismo dos minerais primários.

As desvantagens aparentes oriundas das baixas concentrações e solubilidade de nutrientes, na realidade constituem vantagens em condições tropicais. Os solos tropicais lixiviados e de baixa fertilidade são pobres tanto nos nutrientes, como em minerais de argila de elevada CTC (Kronberg *et al.*, 1979; Marques *et al.*, 2004; Sousa e Rein, 2009). As rochas com potencial para uso na agricultura apresentam uma complexidade composicional presente nos solos de elevada fertilidade (Leonardos *et al.*, 1987; Straaten, 2007). A simples moagem destas rochas pode ser suficiente para viabilizar sua utilização nos sistemas agrícolas (Martins *et al.*, 2008). O intemperismo gradual das FAN nos solos tropicais gera argilas com elevada CTC (Gadd, 2007). Desta forma, além de fornecer nutrientes, os resíduos da transformação mineral pelo intemperismo das FAN têm um papel condicionador dos solos (Straaten, 2007).

Do ponto de vista econômico esta limitação logística obriga a formação de uma indústria mineral de pequeno porte e uma cadeia produtiva regional de matérias primas. Além dos benefícios econômicos regionais, estas características diminuem a possibilidade de concentração em poucos grupos produtores destas matérias primas. Ocorre exatamente o oposto com as FCN, onde a oligopolização é um fenômeno mundial (Benetti, 2002, 2004; Kulaif, 1997, 1999).

Entende-se que o processo de mudança de paradigma deve ser gradual (Fyfe *et al.*, 2006) e a utilização das FCN deve prosseguir em diversos níveis em associação com as FAN, dependendo do estágio de conversão dos sistemas de manejo da fertilidade dos solos agrícolas e das condições regionais.

Materiais silicáticos

Os materiais silicáticos com uso potencial na agricultura podem ter diferentes origens e processos de produção (Luz *et al.*, 2010). Do ponto de vista industrial estes materiais podem ser primários ou secundários. Os materiais primários são extraídos diretamente da natureza, como é o caso do calcário. Os materiais secundários geralmente são formados por subprodutos de outros processos industriais, como é o caso de resíduos de mineração (Martins *et al.*, 2008) e os formados, por exemplo, na produção do aço (Anderson, 1991; Korndörfer *et al.*, 2004; Savant *et al.*, 1999).

Os materiais primários podem passar por processos de beneficiamento de diversos tipos. A moagem é o processo fundamental necessário para uso na agricultura. A pulverização da rocha permite o aumento da superfície de contato entre os minerais da rocha com o solo e a água para promover o intemperismo, a liberação de nutrientes e formação de novas fases minerais (Luz *et al.*, 2010).

Outros processos podem ser utilizados, mas geralmente apresentam limitações devido ao custo energético elevado, como são os processos térmicos e a acidificação (Cekinski *et al.*, 1996; Eichler, 1983; Freitas *et al.*, 2007; Fujimori, 1984; Leite, 1985; Pini e Chaves, 2001; Vallarelli e Guardani, 1981; Vallarelli *et al.*, 1993). O uso destes processos tem o objetivo de modificar os minerais primários para aumentar a disponibilidade de nutrientes e o efeito condicionador do solo (Nascimento e Lapido-Loureiro, 2004). A concentração e o aumento da solubilidade de nutrientes por processos industriais é possível, mas sua utilização é restrita devido ao elevado custo energético e a ausência de tecnologia sustentável. Entretanto, os elevados custos das FCN pós-2008 podem viabilizar alguns destes processos.

A utilização da energia de processos metalúrgicos, por exemplo, pode ser uma das rotas sustentáveis de processos de transformação das FAN. Os processos biológicos podem também ser utilizados na produção de fertilizantes organominerais a partir de silicatos (Badr *et al.*, 2006; Bigham *et al.*, 2001; Calvaruso *et al.*, 2006; Dalcin, 2008; Lopes-Assad *et al.*, 2006). Uma terceira rota é a utilização de misturas de FCN e FAN, tanto com processos biológicos, químicos e/ou físicos (Benedito *et al.*, 2010; Oba *et al.*, 2000). Em todas estas rotas é possível diminuir a demanda de nutrientes a partir de FCN (Chaves e Oba, 2004; Chaves, 2010).

Os silicatos, além de disponibilizar nutrientes minerais e melhorar as características físico-químicas como condicionadores de solo, também disponibilizam silício, muito importantes no desenvolvimento de diversas culturas de gramíneas, entre elas a cana-de-açúcar (Korndörfer *et al.*, 2004; Pereira *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2006). Outros efeitos positivos dos silicatos também estão relacionados com as interações silício-fósforo, favorecendo o melhor aproveitamento de fósforo (Carvalho *et al.*, 2001).

MATERIAIS POTÁSSICOS

Os materiais potássicos mais importantes derivados de rochas silicáticas são formados pelos seguintes minerais (Luz *et al.*, 2010; Manning, 2010a, b): feldspato, muscovita, glauconita, flogopita, biotita, feldspatóides, e zeólitas. Estes minerais podem ser fontes de potássio e silício. A flogopita e a biotita também podem disponibilizar magnésio, especialmente durante o processo de liberação de potássio (Martins, 2001).

O feldspato potássico, a glauconita e a muscovita apresentam cinética de dissolução muito baixa (Blum e Stillings, 1995). A flogopita e a biotita apresentam cinética de dissolução moderada, enquanto os feldspatóides apresentam cinética de dissolução elevada (Martins *et al.*, 2004).

O aproveitamento agrônômico do potássio a partir de materiais de baixa cinética de dissolução, ricos em feldspato, glauconita e/ou muscovita pode ser viabilizado por meio de processos de beneficiamento físicos, biológicos ou químicos. A moagem ultrafina (80% < 400 mesh, ou < 0,038 mm) de fonolitos, ricos em feldspato potássico, apresenta eficiência agrônômica para culturas anuais (Cortes *et al.*, 2010). Processos térmicos de fusão (> 1.000° C) ou hidrotermais por soluções salinas sobre feldspatos potássicos também

umentam a solubilidade dos produtos pela transformação mineralógica e formação de novas fases mais solúveis, como a kalsilita (Vilela e Sousa, 1986).

Os processos térmicos (Eichler, 1983; Leite, 1985) e os biológicos (Dalcin, 2008) são os mais indicados para os materiais ricos em glauconita (Lapido-Loureiro *et al.*, 2010). Os estudos agrônômicos indicaram um aumento da disponibilidade a partir de 800° C (Leite, 1985). Os processos biológicos de compostagem e de bioextração também são eficientes (Lapido-Loureiro *et al.*, 2010; Lopes-Assad *et al.*, 2006, 2009).

Os experimentos agrônômicos com os materiais ricos em biotita e flogopita como fonte de potássio apresentam uma elevada eficiência agrônômica e efeito residual em culturas anuais (Martins *et al.*, 2008; Resende *et al.*, 2006a). O único processo de beneficiamento, neste caso, é a moagem, sendo que não é necessário uma granulometria muito fina (100% < 2 mm, 50% < 0,3 mm). A quantidade de potássio aproveitada no primeiro cultivo varia dependendo da granulometria dos minerais, do tipo de solo e da cultura estudada (Resende *et al.*, 2006a).

Os feldspatóides, como a kalsilita, apresentam a mais elevada disponibilidade de potássio entre os minerais silicáticos (Silva e Ritchey, 1982). Entretanto, a ocorrência natural destes minerais está associada a rochas alcalinas especiais, do tipo kamafugito, e é muito rara devido à elevada alterabilidade deste mineral em clima tropical (Manning, 2010b). Um dos processos industriais de beneficiamento hidrotermal de rochas potássicas transforma o feldspato potássico em kalsilita e aumenta, desta forma, a disponibilidade de potássio (Silva e Ritchey, 1982; Vilela e Sousa, 1986).

Os minerais do grupo da zeólita podem apresentar potássio em sua composição (Manning, 2010b). No entanto, estes minerais são aplicados usualmente em sistemas agrônômicos como condicionador de solo e controlador de cinética de liberação de FCN, especialmente do nitrogênio (Bernardi *et al.*, 2010).

Todos estes processos de beneficiamento agregam valor às FAN derivadas destes materiais silicáticos potássicos, mas promovem um aumento de custo de produção. Um análise econômica e energética deve ser desenvolvida para avaliar a viabilidade destes produtos.

Por outro lado, os resíduos dos processos de liberação do potássio geram novas fases minerais com elevada superfície específica e carga superficial. Este é o caso da formação de vermiculita a partir da biotita ou flogopita (Martins *et al.*, 2004). Estas novas fases melhoram as características físico-químicas do solo e da CTC, aumentando, inclusive, o aproveitamento de fontes solúveis.

MATERIAIS MAGNESIANOS

Os silicatos de magnésio principais são os seguintes (Luz *et al.*, 2010): olivina (Mg_2SiO_4), enstatita ($MgSiO_3$), serpentina ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$), talco ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$) e clorita ($Mg_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$). Estes minerais são típicos de rochas ultramáficas. Estes minerais apresentam potencial como corretivo de acidez e fornecedor de silício e magnésio (Pereira *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2009).

Estes estudos geralmente indicam uma cinética de liberação do silício e do magnésio inferior aos silicatos de cálcio (Pereira *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2006), mas os efeitos no controle de doenças apresentam resultados similares entre os dois tipos de silicatos (Santos *et al.*, 2009).

MATERIAIS CÁLCICOS

Os silicatos de cálcio mais importante utilizados na agricultura são os minerais com estrutura e composição da wollastonita ($CaSiO_3$), o extremo cálcico do grupo dos piroxênios (Costa e Girardi, 2004). Este é um tipo de mineral que ocorre em rochas metamórficas em ambientes naturais (Moraes *et al.*, 2007). Em processos industriais são formados na produção de aço (Korndörfer *et al.*, 2004). Estes materiais são utilizados como corretivo de acidez do solo e fornecedor de cálcio e de silício (Pereira *et al.*, 2007; Prado e Fonseca, 2010).

Recentemente foi comprovada a existência de uma jazida de wollastonita na região de Goianira (GO), de elevada qualidade (45% de CaO e 49% de SiO₂) e com reserva estimada em torno de 5,5 milhões de toneladas (Bittar e Silva, 2009).

MATERIAIS SILICÁTICOS CARBONOSOS

Os materiais silicáticos carbonosos com maior importância agrônômica atualmente são os folhelhos pirobetuminosos da Formação Irati. As camadas desta Formação ocorrem nas bordas da Bacia do Paraná, abrangendo os estados do Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, além do Paraguai e Argentina (Araújo *et al.*, 2000).

O aproveitamento deste folhelho na produção de petróleo na região de São Mateus do Sul (PR) pela Petrobras gera resíduos com potencial de utilização na agricultura, como condicionadores de solo (Messias *et al.*, 2010), fornecedores de nutrientes (Gardin *et al.*, 2010), corretivos de acidez (Ferreira *et al.*, 2010; Silveira *et al.*, 2010), no controle de doenças e promotores de crescimento de plantas (Gardin *et al.*, 2010).

Nas outras regiões, os calcários associados aos folhelhos são utilizados como corretivos de acidez do solo, especialmente no Sudoeste Goiano e no Mato Grosso. Estes materiais silicáticos carbonosos apresentam grande potencial como condicionadores de solo, especialmente no aumento da CTC (Pereira *et al.*, 2003). Também podem ter seu uso viabilizado como fonte de magnésio e de silício.

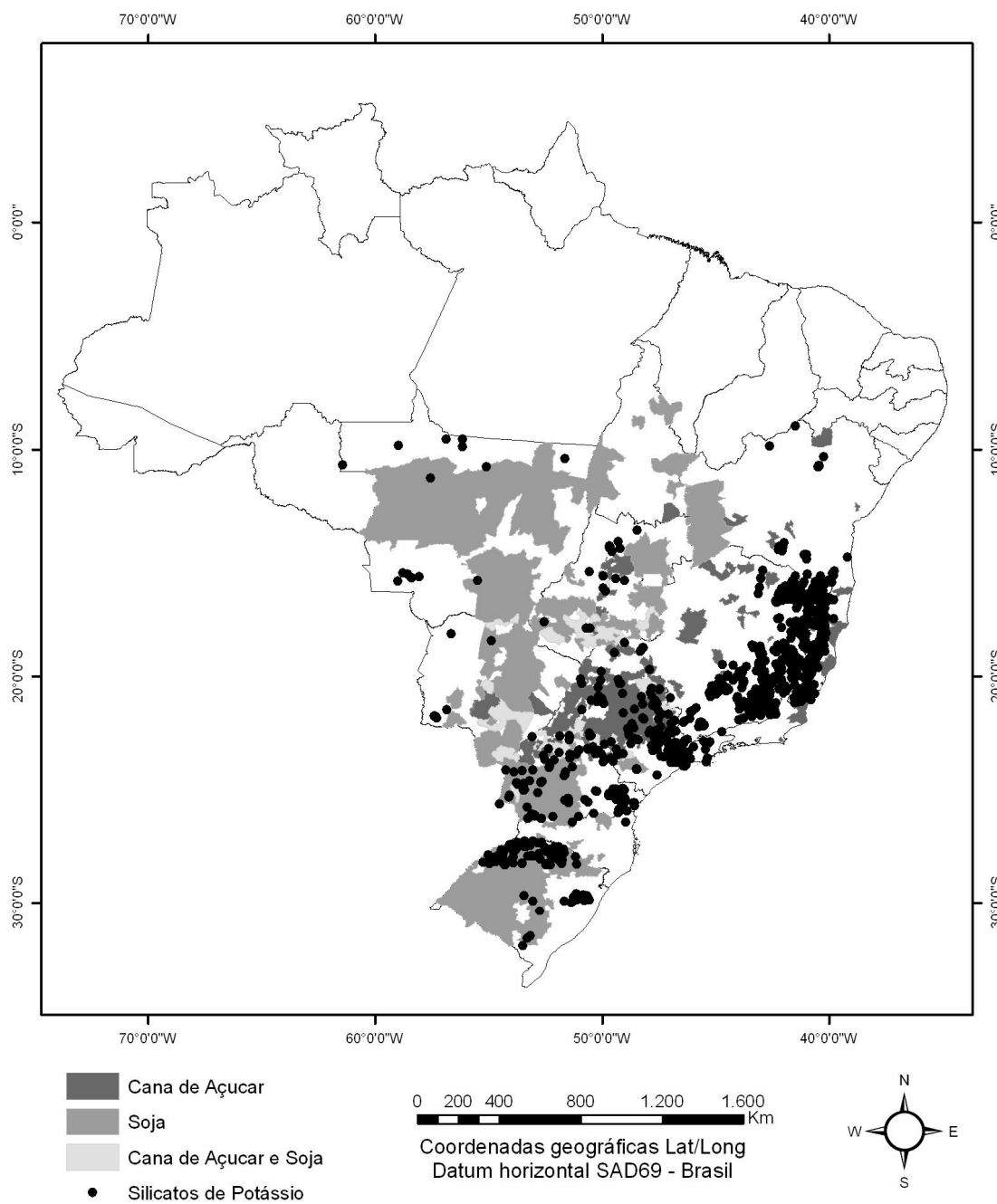
Ocorrências de fontes de materiais silicáticos no Brasil

Vários trabalhos mostram o potencial de materiais silicáticos como fontes de nutrientes e de condicionadores de solo (Martins *et al.*, 2008; Resende *et al.*, 2006a), mas praticamente não existem estudos sistematizados mostrando as ocorrências destas fontes.

Em busca realizada no banco de dados GEOBANK da CPRM (Dantas e Leão Neto, 2007), nas entradas de ocorrências de recursos minerais (veja: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>), especialmente para a região Centro-Sul do país, obtiveram-se algumas informações.

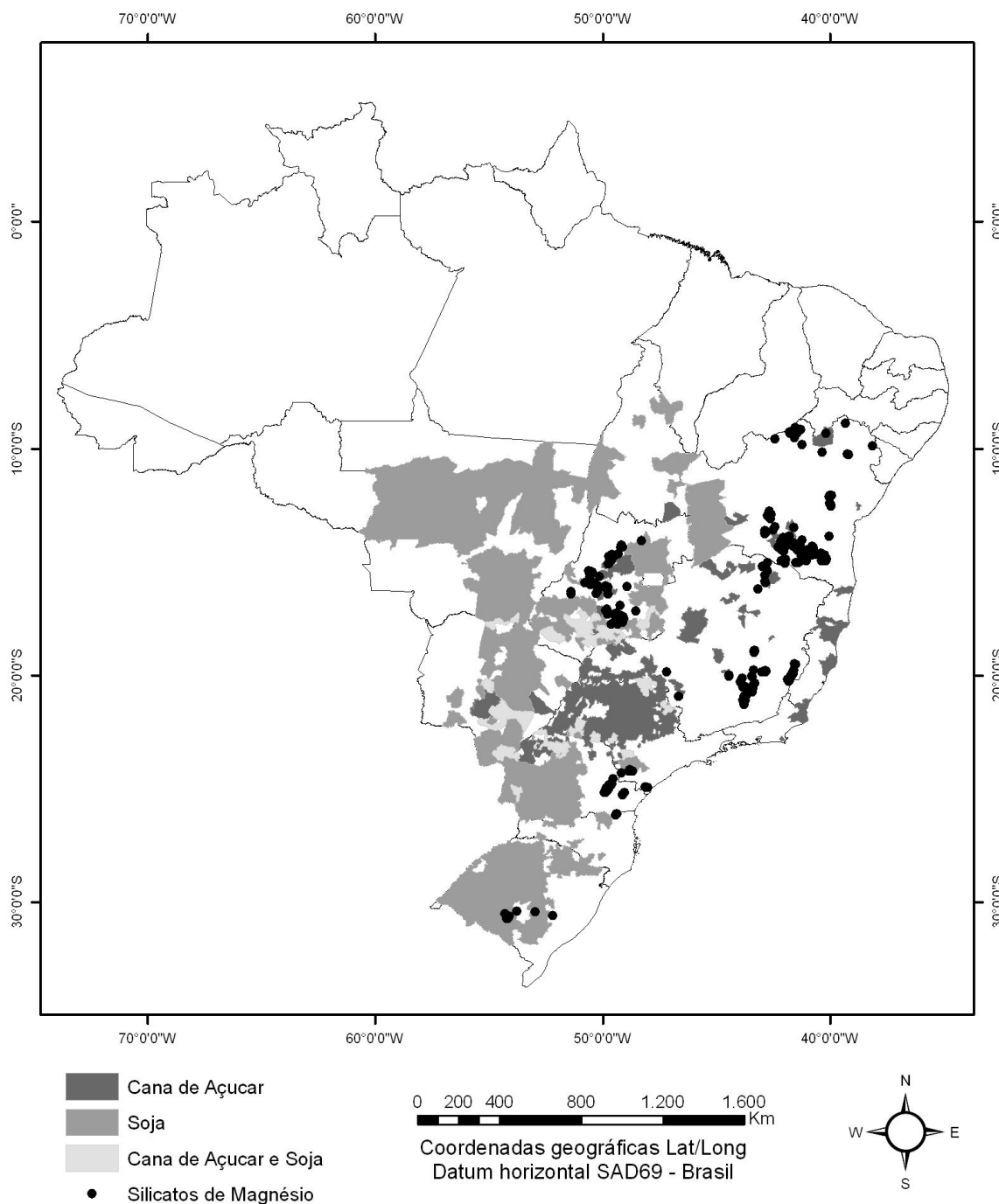
Os recursos minerais estão listados por substância mineral, localização e associação litológica. As entradas podem ser ocorrências ou minas ativas. A busca foi realizada para as seguintes fontes de materiais silicáticos: potássicos, magnesianos e condicionadores de solo (zeólita e materiais silicáticos carbonosos).

A estas ocorrências foram associadas as áreas de produção de cana-de-açúcar e de soja para a região Centro-Sul do país. Observa-se a grande abrangência das ocorrências de materiais silicáticos potássicos (Fig. 1), magnesianos (Fig. 2) e os condicionadores de solo (Fig. 3). As ocorrências de calcário (Fig. 4) indicam que a logística dos materiais silicáticos é viável para o seu aproveitamento regional. (Rocha e Teixeira, 2010).



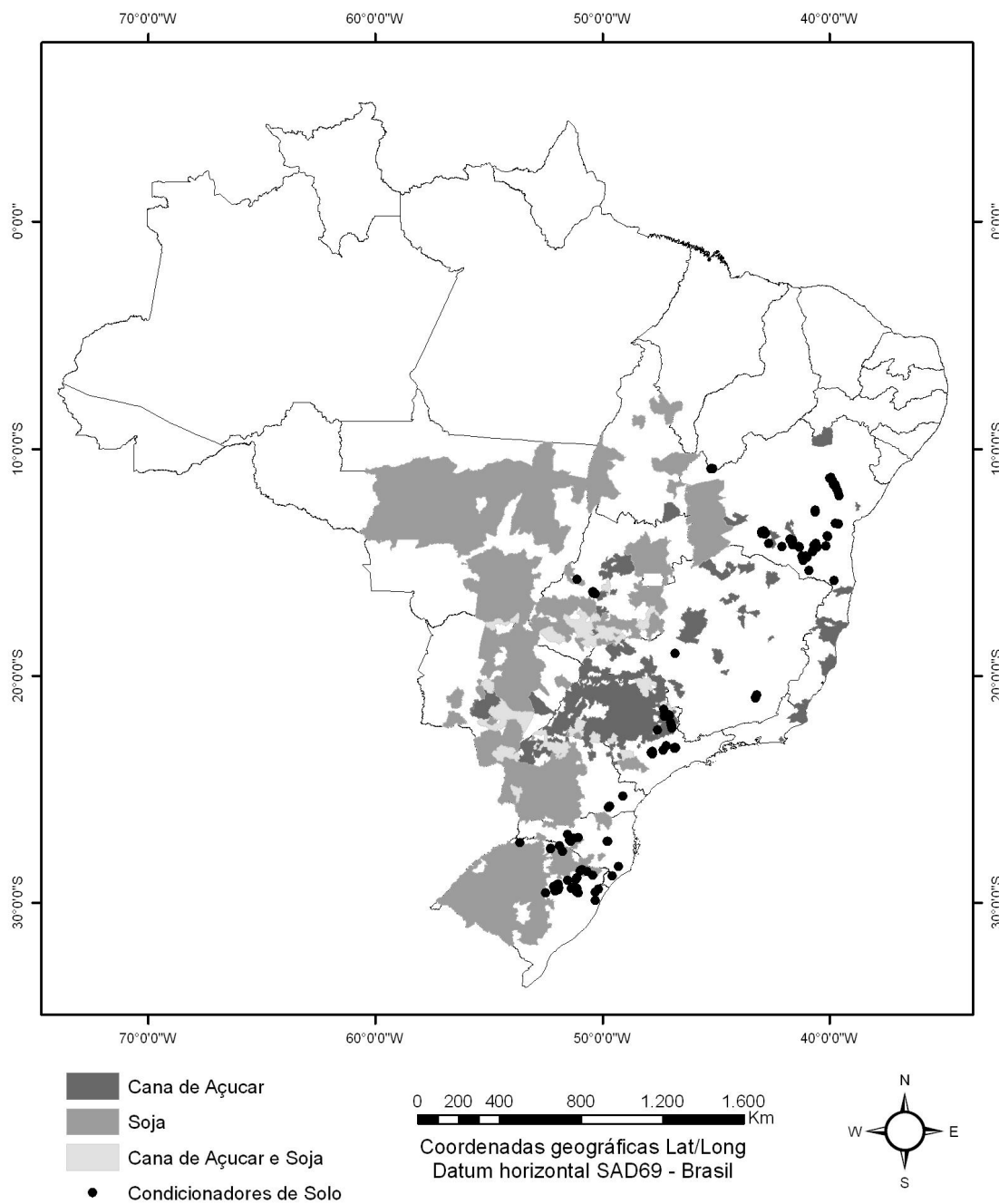
Fontes: ocorrências minerais (GEOBANK, CPRM); áreas de plantios (IBGE).

Figura 1 – Ocorrências minerais associadas a silicatos de potássio e sua relação com as áreas produtoras de soja e cana-de-açúcar.



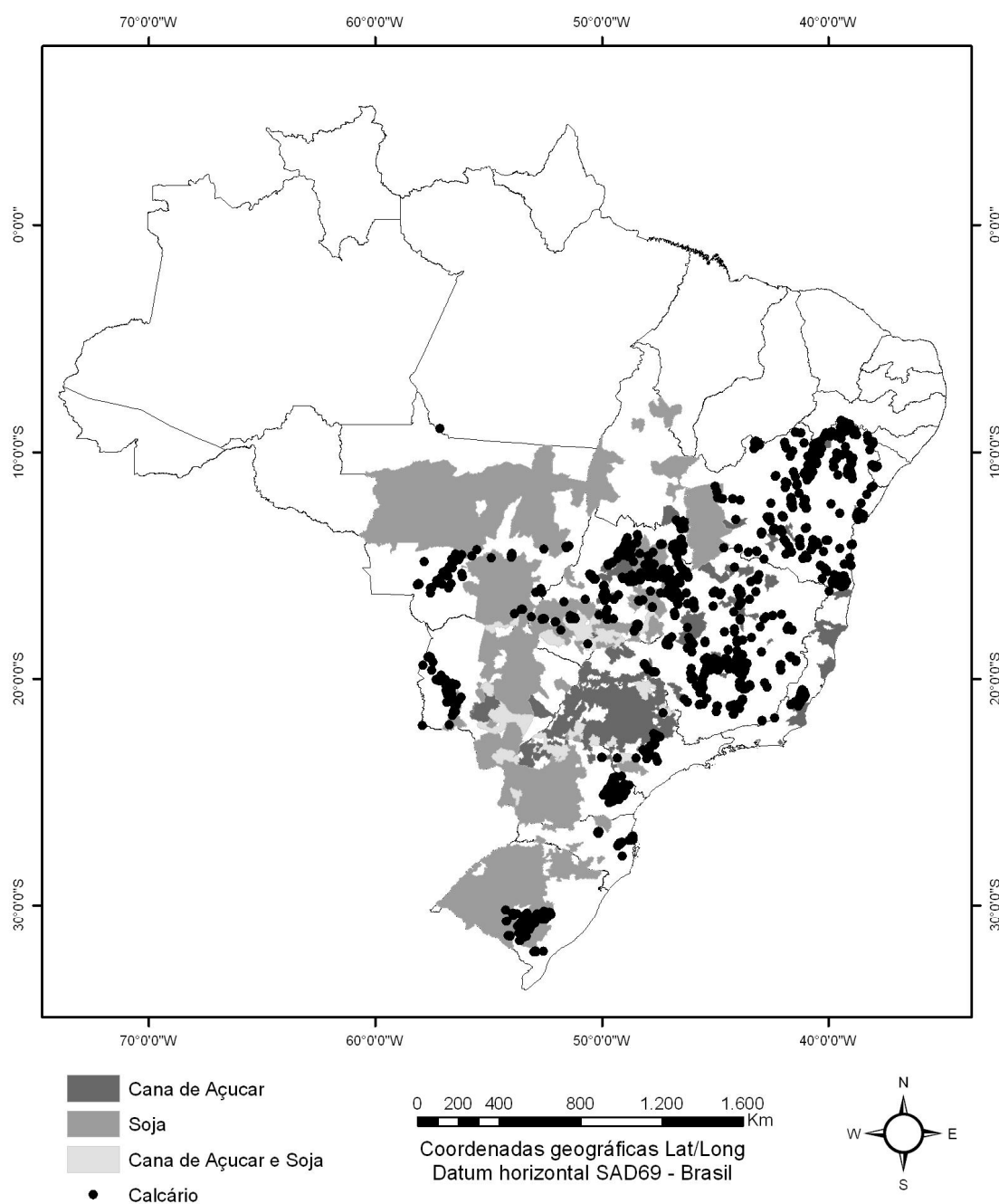
Fontes: ocorrências minerais (GEOBANK, CPRM); áreas de plantios (IBGE).

Figura 2 – Ocorrências minerais associadas a silicatos de magnésio e sua relação com as áreas produtoras de soja e cana-de-açúcar.



Fontes: ocorrências minerais (GEOBANK, CPRM); áreas de plantios (IBGE).

Figura 3 – Ocorrências minerais associadas a condicionadores de solo e sua relação com as áreas produtoras de soja e cana-de-açúcar.



Fontes: ocorrências minerais (GEOBANK, CPRM); áreas de plantios (IBGE).

Figura 4 – Ocorrências minerais associadas a calcários e sua relação com as áreas produtoras de soja e cana-de-açúcar.

As FAN apresentam uma lógica de mercado similar ao calcário. O aproveitamento do calcário como corretivo de acidez do solo é possível apenas até um limite econômico de distância da jazida até a área produtiva, geralmente inferior a 350 km (Pereira, 2007).

As ocorrências das FAN indicam que este conceito pode ser utilizado para diminuir a necessidade de FCN e aumentar a sustentabilidade, ainda que parcial da produção de biocombustíveis líquidos no Brasil.



Conclusões

Os estudos recentes indicam a necessidade da assimilação do novo paradigma dos fertilizantes e condicionadores de solo baseados em FAN, em substituição progressiva ao modelo das fontes solúveis e de elevada concentração. As dimensões econômica e ambiental são muito evidentes, especialmente após a crise de 2008.

Os materiais silicáticos primários e, ou secundários mostram grande potencial no desenvolvimento de fontes de nutrientes e condicionadores de solo. A distribuição das fontes no território brasileiro indica seu elevado potencial regional, especialmente para a produção de biocombustíveis líquidos.

Ações estratégicas da indústria e do estado podem utilizar este potencial para desenvolver uma produção de biocombustíveis sustentável, com a diminuição da dependência de insumos importados. Além disso, a cadeia produtiva regional possibilita a geração de novos negócios e empregos.

Referências bibliográficas

- ANDERSON, D.L. (1991). Soil and leaf nutrient interations following application of calcium silicate slag to sugarcane. **Fertilizer Research**, 30(1):9-18.
- ARAÚJO, L.M.; TRIGÜIS, J.A.; CERQUEIRA, J.R.; FREITAS, C.S. (2000). The atypical Permian petroleum system of the Paraná Basin, Brazil. In: M.R. Mello e B.J. Kats (eds.), **Petroleum system of South Atlantic margins**. AAPG Memoir, 73:377-402.
- BADR, M.A.; SHAFEI, A.M.; EL-DEEN, S.H.S. (2006). The dissolution of K and P-bearing minerals by silicate dissolving bacteria and their effect on sorghum growth. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, 2(1):5-11.
- BATAGLIA, O.C. (2005). Métodos diagnósticos da nutrição potássica com ênfase no DRIS. In: T. Yamada; T. Roberts (eds.), **Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira**, 2, São Pedro, SP, Anais ..., Piracicaba: POTAFOS, p. 321-341.
- BENEDITO, D.S.; PROCHNOW, L.I.; SILVEROL, A.C.; TOLEDO, M.C.M. (2010). Eficiência agrônômica de compostos organominerais obtidos pelo processo Humifert. **Bragantia**, Campinas, 69(1):191-199.
- BENETTI, M.D. (2002). Reestruturação das indústrias de suprimentos agrícolas no Brasil, nos anos 90: concentração e desnacionalização. **Indicadores Econômicos FEE**, Porto Alegre, 30(1):137-166.
- BENETTI, M.D. (2004). Globalização e desnacionalização do agronegócio brasileiro no pós 1990. Porto Alegre: Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser, **Documentos FEE**, 61, 173 p.
- BENITES, V.M. (coord.) (2009). **Produção de fertilizantes organominerais granulados a partir de resíduos de suinocultura no Sudoeste Goiano**. Embrapa, Projeto de Pesquisa, Macroprograma 3.
- BERNARDI, A.; MONTE, M.; POLIDORO, J.C.; SOUZA-BARROS, F. (2010). Potencial de uso de zeolitas na agropecuária. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**, I, Anais ..., Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 21, p. 191-196.
- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; REZENDE, N.G.A.M.; AMORIM, H.S.; SOUZA-BARROS, F.; PAIVA, R.P.P.; MONTE, M.B.M. (2004). Avaliação agrônômica de substratos contendo zeólita enriquecida com nitrogênio, fósforo e potássio. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 57.
- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; BOTREL, N.; OIANO NETO, J.; MONTE, M.B.M.; VERRUMA-BERNARDI, M.R. (2007). Produção e qualidade de frutos de tomateiro cultivado em substrato com zeólita. **Horticultura Brasileira**, 25:306-311.

- BERTOL, I.; COGO, N.P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J.C.; AMARAL, A.J. (2007). Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 31:133-142.
- BIGHAM, J.M.; BHATTI, T.M.; VUORINEN, A.; TUOVINEN, O.H. (2001). Dissolution and structural alteration of phlogopite mediated by proton attack and bacterial oxidation of ferrous iron. **Hydrometallurgy**, 59(2-3):301-309.
- BITTAR, N.; SILVA, H.H. (2009). Wollastonita de Goianira- Goiás. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**, I, livro de resumos, Brasília, DF.
- BLAYLOCK, A.D.; KAUFNABB, J.; DOWBENKO, R.D. (2005). Nitrogen fertilizer technologies. **Western Nutrient Management Conference**, Salt Lake City, 6:8-13.
- BLUM, A.E.; STILLINGS, L.L. (1995). Feldspar dissolution kinetics. In: Eds. A.F. White e S. L. Brantley, Chemical weathering rates of silicate minerals, **Reviews in Mineralogy**, 31:291-351.
- CALVARUSO, C.; TURPAULT, M-P.; FREY-KLETT, P. (2006). Root-associated bacteria contribute to mineral weathering and to mineral nutrition in trees: a budgeting analysis. **Applied and Environmental Microbiology**, 72:1258-1266.
- CANUTO, E.L.; OLIVEIRA, A.L.M.; REIS, V.M.; BALDANI, J.I. (2003). Evaluation of the biological nitrogen fixation contribution in sugarcane plants originated from seeds and inoculated with nitrogen-fixing endophytes. **Brazilian Journal of Microbiology**, 34(supl.1): 62-64.
- CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A.E.; SANTOS, C.D.; FERNANDES, L.A.; CURI, N.; RODRIGUES, D.C. (2001). Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36:557-565.
- CEKINSKI, E.; PEREIRA, S.C.C.; GUARDANI, R.; GIULIETTI, M. (1986). Aspectos gerais da produção de termo-fosfatos. **Encontro Nacional de Rocha Fosfática**, III. São Paulo, Ibrafos, 1986.
- CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; PAVINATO, A. (2007). Manejo da adubação. In: R. F. Novais, *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 851-872.
- CHAVES, A.P. (2010). Rotas tecnológicas convencionais e alternativas para a obtenção de fertilizantes. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 40, p. 313-321.
- CHAVES, A.P.; OBA, C.A.I. (2004). Críticas ao modelo brasileiro de fertilizantes fosfatados de alta solubilidade. Rio de Janeiro: CETEM, **Série Estudos e Documentos**, 63, 25 p.
- CORTES, G.P.; FERREIRA, R.C.; CORTES, G.P.; RAMPAZZO, L. FERREIRA, L.C. (2010). Fonolito como substituto do cloreto de potássio e/ou outras fontes de potássio na agricultura e pecuária no Brasil. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 8, p. 75-83.
- COSTA, P.C.C.; GIRARDI, V.A.V. (2004). Petrografia e química mineral dos diques máficos da região Crixás-Goiás, estado de Goiás. **Geol. USP**, Sér. cient. [online], 4(2):27-42.
- DALCIN, G. (2008). **Seleção de Microrganismos Promotores da Disponibilidade de Nutrientes Contidos em Rochas, Produtos e Rejeitos de Mineração**. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Dissertação de Mestrado, 95 p.
- DANTAS, A.S.L.; LEÃO NETO, R. (2007). Levantamentos geológicos no Serviço Geológico do Brasil – CPRM, como tecnologia social: A busca de novos paradigmas. In: F.R.C. Fernandes, G.M.M. Matos, Z.C. Castilhos, A.B. Luz (eds.), **Tendências Tecnológicas Brasil 2015 – Geociências e Tecnologia Mineral**, Rio de Janeiro: CETEM, Parte I, cap. 4, p. 57-77.
- DIBB, D.W. (2000). The mysteries (myths) of nutrient use efficiency. **Better Crops**, 84(3):3-5.

- EICHLER, V. (1983). **Disponibilidade do potássio do verdete de abaeté calcinado com e sem calcário magnesiano para a cultura do milho (*Zea mays* L.), em solos de textura média e argilosa**. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, UFLA, Dissertação de mestrado.
- FERREIRA, L.H.G.; SILVEIRA, C.A.P.; PILLON, C.N.; SANTOS, L.C. (2010). Efeito da combinação de calcário de xisto e calcário dolomítico com diferentes fontes de fósforo sobre a produtividade da cultura da soja. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais ..., Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 25, p. 219-224.
- FONTES, M.P.F.; WEED, S.B. (1996). Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. **Geoderma**, 72:37-51.
- FREITAS, L.R.; NASCIMENTO, M.; ALMENDRA, E.R. (2007). PATENTE, PI 0602252-9: **Process for Recovery of Potassium Values Contained in Verdete Slates**. Companhia Vale Do Rio Doce.
- FUJIMORI, K. (1984). Desenvolvimento da tecnologia de produção do fertilizante potássico tipo kalsilita, próprio para agricultura tropical a partir das rochas potássicas. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro – p. 4892-4902.
- FYFE, W.S.; LEONARDOS, O.H., THEODORO, S.H. (2006). Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 78:715-720.
- GADD, G.M. (2007). Geomycology: biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi, bioweathering and bioremediation. **Mycological Research** 111: 3–49.
- GARDIN, J.P.P.; DOUMER, M.E.; MESSIAS, R.S.; FERREIRA, L.H.G.; SILVEIRA, C.A.P.; PILLON, C.N. (2010). Avaliação do efeito de fertilizantes foliares a bases de água de xisto na produtividade e na atividade enzimática na cultura do milho. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais ..., Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 26, p. 225-232.
- GOEDERT, W.J. (1989). Região dos Cerrados: potencial agrícola e política para seu desenvolvimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 24(1):1-17, 1989.
- HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H.; SILVA W.M. (1999). Sistema de manejo de solos e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 23(1):145-54.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.U.; MENDES, I.C. (2001). Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. **Circular Técnica**, Londrina: Embrapa Soja, 35, 48 p.
- IZIDORIO, R.; MARTINS FILHO, M.V.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. (2005). Perdas de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 25(3):660-670.
- KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D.F.; RHEINHEIMER, D.S. (2007). Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1003-1010.
- KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. (2004). Análise de silício no solo, planta e fertilizante. **Boletim Técnico 02**, Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU. 50p.
- KRONBERG, B.I.; FYFE, W.S.; LEONARDOS, O.H.; SANTOS, A.M. (1979). The chemistry of some Brazilian soils: Element mobility during intense weathering. **Chemical Geology**, 24(3-4):211-229.
- KULAIF, Y. (1997). A evolução recente e a configuração atual da indústria brasileira de fertilizantes. **Minérios Minerais**, São Paulo, 220:35-39.
- KULAIF, Y. (1999). A nova configuração da indústria de fertilizantes fosfatados no Brasil. Rio de Janeiro: CETEM, **Série Estudos e Documentos**, 42, 244 p.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (eds.) (2009). **Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade**. Rio de Janeiro, RJ: Centro de Tecnologia Mineral, CETEM/ PETROBRAS, 656 p.

- LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; NASCIMENTO, M. (2003). Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável. Rio de Janeiro: CETEM, **Série Estudos e Documentos**, 53, 75 p.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; NASCIMENTO, M.; NEUMANN, R.; RIZZO, A.C. (2010). Tecnologias de aplicação de glauconita como fonte de potássio na agricultura: O caso brasileiro e a experiência indiana. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**, I, Anais, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 12, p. 111-119.
- LEITE, P.C. (1985). **Efeitos de tratamentos térmicos em misturas de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnésiano**. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, UFLA, Dissertação de Mestrado.
- LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. (1987). The use of ground rocks in laterite systems – an improvement to the use of conventional soluble fertilizers. **Chemical Geology**, 60:361-370.
- LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H.; ASSAD, M.L. (2000). Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 56:3-9.
- LOPES-ASSAD, M.L.; BRANDÃO, J.A.V.; ÁVILA, J.E.T. (2009) Biofertilizantes produzidos a partir de rochas potássicas e fosfatadas. In: D. Vilela; E.N. Fernandes; G.R. Carvalho; R.S. Verneque; C.E. Martins; R. Zoccal (orgs.). **Fórum das Américas: Leite e derivados**. 1 ed. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, v. 7, p. 155-170.
- LOPES-ASSAD, M.L.; ROSA, M.M.; ERLER, G.; CECCATO-ANTONINI, S.R. (2006). Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*. **Espaço & Geografia**, 9(1)1-17.
- LOPES, A.S.; ALCARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A. (1998) Os adubos e a eficiência das adubações. 3. ed., São Paulo: ANDA, **Boletim Técnico**, 3, 43 p.
- LUZ, A.B.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; SAMPAIO, J.A.; CASTILHOS, Z.C.; BEZERRA, M.S. (2010). Rochas, minerais e rotas tecnológicas para produção de fertilizantes alternativos. (Nessa publicação).
- MANNING, D.A.C. (2010a). Mineral sources of potassium for plant nutrition: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 30(2):281-294.
- MANNING, D.A.C. (2010b). Stone meal as a source of plant nutrients, especially potash: a mineralogical approach. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro, **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**, cap. 5, p. 47-54.
- MARQUES, J.J.; SCHULZE, D.G.; CURI, N.; MERTZMAN, S.A. (2004). Major element geochemistry and geomorphological relationship in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, 119:179-195.
- MARTINS, E.S., OLIVEIRA, C.G., RESENDE, A.V.; MATOS, M.S.F. (2008). Agrominerais – Rochas Silicáticas como Fontes Mineraias Alternativas de Potássio para a Agricultura. In: Adão B. Luz e Fernando Lins (eds.), **Rochas e Mineraias Industriais – Usos e Especificações**, Rio de Janeiro: CETEM, p. 205-221.
- MARTINS, E.S.; THEODORO, S.H. (eds.) (2010). **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 322 p.
- MARTINS, J.C. ; MARTINS, E.S. ; REATTO, A. (2004). Revisão sobre intemperismo de micas. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, **Série Documentos**, 164:1-42.
- MARTINS, J.C. (2001). **Cinética de dissolução de flogopita do Complexo Carbonatítico de Catalão I**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, UnB, Instituto de Geociências, 227 p. Dissertação de Mestrado.
- MESSIAS, R.; SILVA, S.D.A.; PAGEL, I.; ARAÚJO, V.F.; SILVEIRA, C.A.P.; PILLON, C.N. (2010). Influência de formulações foliares a base de água de xisto (AX) no teor de óleo em duas cultivares de girassol (*Helianthus annuus L.*). In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 30, p. 255-258.
- MONTE, M.B.M.; MIDDEA, A.; PAIVA, P.R.P.; BERNARDI, A.C.C.; REZENDE, N.G.A.M.; BAPTISTA-FILHO, M.; SILVA, M.G.; VARGAS, H.; AMORIM, H.S.; SOUZA-BARROS, F. (2009). Nutrient Release by a Brazilian Sedimentary Zeolite. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 81(4):1-13.

- MORAES, R.; FUCK, R.A.; BROWN, M.; PICCOLI, P.; BALDWIN, J.; DANTAS, E.L.; LAUX, J.H.; JUNGES, S.L. (2007). Wollastonite-scapolite-clinopyroxene marble of the Anápolis-Itaçu Complex, Goiás: more evidence of ultrahigh-temperature metamorphism. **Revista Brasileira de Geociências**, 37(4-suplemento):11-17.
- NASCIMENTO, M.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E. (2004). Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira fontes e rotas alternativas. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 66p. (**Série Estudos e Documentos**, 61).
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. (eds.) (1999). **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, DPS, 399 p.
- OBA, C.A.I.; LACOUT, J.L.; CHAVES, A.P. (2000). Novo fertilizante organo-fosfatado viabiliza materiais fosfatados marginais. **Brasil Mineral**, n. 183, p. 60-4.
- PATERNIANI, E. (2001). Agricultura sustentável nos trópicos. **Estudos Avançados**, São Paulo, 15(43):303-326.
- PEREIRA, C.M. (2007). **Política de uso de calcário agrícola e a sustentabilidade da agricultura no Brasil**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, 316 p.
- PEREIRA, H.S.; BARBOSA, N.C.; CARNEIRO, M.A.C.; KORNDÖRFER, G.H. (2007). Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42(2):239-247.
- PEREIRA, H.S.; VITTI, G.C.; KORNDÖRFER, G.H. (2003). Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:101-108.
- PINI, R.A.; CHAVES, A.P. (2001). **Fabricação de termofosfato utilizando fosfogesso**. São Paulo, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI, 151.
- PRADO, R.B.; BENITES, V.M.; MACHADO, P.L.O.A.; POLIDORO, J.C.; DART, R.O.; NAUMOV, A. (2008). Mapping Potassium Availability from Limited Soil Profile Data in Brazil. In: A. E. Hartermink; A.B. Mc Bratney; M.L. Mendonça-Santos (orgs.). **Digital Soil Mapping with Limited Data**: Springer, p. 91-101.
- PRADO, R.B.; TURETTA, A.P.; POLIDORO, J.C.; BENITES, V.M.; BALIEIRO, F.C.; CHAVAGLIA FILHO, P.; FERREIRA, C.E.G. (2007) Mapeamento da disponibilidade de cálcio e magnésio em solos do Sudoeste Goiano. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31, Anais, Gramado-RS, CD-Rom.
- PRADO, R.M.; FONSECA, I.M. (2010). Uso agrícola de resíduos minerais da siderurgia para produção de agroenergia: Resultados da UNESP com cana-de-açúcar. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Congresso Brasileiro de Rochagem**, I, Anais, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 22, p. 197-205.
- RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M.S. (2006). Reatividade de corretivos de acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:849-857.
- REIS JÚNIOR, F.B.; SILVA, L.G.; REIS, V.M.; DÖBEREINER, J. (2000). Ocorrência de bactérias diazotróficas em diferentes genótipos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35(5); 985-994.
- RESENDE, A.V.; MACHADO, C.T.T.; MARTINS, E.S.; SENA, M.C.; NASCIMENTO, M.T.; SILVA, L.C.R.; LINHARES, N.W. (2006a) Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. **Espaço & Geografia**, 9:135-161.
- RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPORA, D.I.; SANTOS, J.Z.L.; CARNEIRO, L.F. (2006b). Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da Região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:453-466.
- ROCHA LIMA, M. H. M. e TEIXEIRA, N. SILVA (2010). Um estudo das principais lavouras para a produção de biocombustíveis. (Nessa publicação)
- RODRIGUES, A.F.S. (2009). Agronegócio e Mineralnegócio: Relações de dependência e sustentabilidade. In: **Informe Mineral: Desenvolvimento e Economia Mineral**. Brasília: DNPM, v.7, p. 28-47.

- RODRIGUES, A.F.S. (2010). Mineração para o Agronegócio. In: A. F. S. Rodrigues (coord.), **Economia Mineral do Brasil**, Brasília: DNPM, 2009, cap. 7, p. 532-595.
- ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. (2005). Potassium leaching from millet straw as affected by rainfall and potassium rates. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 36:1063-1074.
- SANTOS, A.B; PRABHU, A.S; FERREIRA, E.; FAGERIA, N.K. (2009). Fertilização silicatada na severidade de brusone e na incidência de insetos-praga em arroz irrigado. | **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 13(5):537-543.
- SAVANT, N.K, KORNDÖRFER, G.H., DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. (1999). Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **J. Plant Nutr.**, 22(12):1853-1903.
- SHAVIV, A. (2001). Advances in controlled-release fertilizers. In: D.L Sparks (org.), **Advances in Agronomy**, San Diego-CA: Elsevier, vol. 71, cap. 1, p. 1-49.
- SHIKI, S.; SILVA, J.G.; ORTEGA, A.C. (1997). **Agricultura, meio ambiente e sustentabilidade do Cerrado Brasileiro**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia.
- SILVA, J.E.; RITCHEY, K.D. (1982). Adução potássica em solos de Cerrado. In: Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira, 1982, Londrina. Potássio na Agricultura Brasileira: Anais, Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, p. 323-338.
- SILVEIRA, C.A.P.; FERRREIRA, L.H.G.; PILLON, C.N.; GIACOMINI, S.J.; SANTOS, L.C. (2010). Efeito da combinação de calcário de xisto e calcário dolomítico sobre a produtividade de grãos de dois sistemas de rotação de culturas. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Anais, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 24, p. 215-218.
- SOUSA, D.M.G., REIN, T.A. (2009). Manejo da fertilidade do solo para culturas anuais: Experiências no Cerrado. **Informações Agrônomicas**, São Paulo, 126:1-7.
- SPAROVEK, G.; MARTINS, S.P.; MAULE, R.F.; SMORIGO, J. (2008). Mercado mundial de biocombustíveis e oportunidade para a produção brasileira de etanol de cana-de-açúcar, sob perspectivas econômicas, ambientais e de segurança alimentar. Brasília: Universidade de Brasília, Centro de Estudos Avançados Multidisciplinares, Núcleo de Estudos Agrários, **Cadernos do CEAM**, 8(33):7-82.
- STEWART, B.A. (1975). **Soil Conditioners**. In: Soil Science Society of America – Special Publication, Madison, 7p. 186.
- STRAATEN, P. (2006). Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 78:731-747.
- STRAATEN, P. (2007). **Agrogeology – The use of Rocks for Crops**. Canadá: Universidade de Guelph, P. van Straaten., 440 p.
- STRAATEN, P.V. (2010). Geodiversity, biodiversity and the origin of crops. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 1, p. 13-22.
- VALARELLI, J.V., NOVAIS, R.F., MELO, M.T.V., LEAL, E.D. (1993). Ardósias “Verdete” de Cedro do Abaeté na produção de termofosfato potássico fundido e sua eficiência agrônômica. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 65(4):343-375.
- VALARELLI, J.V.; GUARDANI, R. (1981). Estudos Experimentais para utilização das rochas potássicas de Poços de Caldas como fertilizantes. **Fertilizantes**, 3(3):4-7.
- VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. (2003). Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas, 62(1):111-118.
- VILELA, L.; SOUSA, D.M.G.; (1986). Avaliação agrônômica de fontes de potássio para solos de cerrado. In: W.J. Goedert e F.A. Dias Filho (eds.), **Relatório Bial** (1984/1985). Brasília: Embrapa, Petrófertil, p. 131-134.

O MEIO AMBIENTE NA PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS NO BRASIL

ELVIRA GABRIELA DIAS¹ E ROBERTO D. LAJOLO²

Introdução

O crescimento da produção de biocombustíveis no País irá requerer maiores quantidades de matérias-primas vegetais para sua fabricação e, conseqüentemente, o incremento das áreas plantadas e da produtividade agrícola. Diante desta perspectiva, emerge a questão da demanda por insumos indispensáveis como os fertilizantes fosfatados.

Mesmo sem a pressão do setor de biocombustíveis, o Brasil já é um grande importador de fertilizantes devido, principalmente, à escassez de matérias-primas de origem mineral, que constituem a base da cadeia produtiva do setor. Um caminho para superar esta condição começa com a intensificação dos trabalhos de pesquisa mineral, que podem resultar em aumento das reservas conhecidas, viabilizando a ampliação das taxas de extração mineral em projetos existentes ou o desenvolvimento de novos projetos.

Dentre os fatores a ser considerados no planejamento da ampliação da produção de agrominerais, destacam-se importantes restrições de caráter ambiental. Este capítulo apresenta os prováveis impactos ambientais negativos associados à cadeia produtiva dos fertilizantes fosfatados, um dos mais importantes insumos da agricultura no Brasil. A provável ocorrência de tais impactos não raro implica obstáculos à viabilização de empreendimentos, sendo necessário, em tais casos, identificar as ações e medidas que, se implementadas, poderão atenuar este efeito.

A identificação e a análise dos impactos ambientais de qualquer atividade humana envolvem aspectos relacionados à atividade em si e ao contexto ambiental em que se insere. Este capítulo não trata, contudo, de um empreendimento em particular, mas de um segmento da indústria, cujos empreendimentos se distribuem amplamente no território nacional e se associam a variados tipos de ambiente. Assim, os vários tipos de impacto terão maior ou menor probabilidade de ocorrência ou significância conforme as especificidades das relações entre cada empreendimento e seu ambiente de inserção.

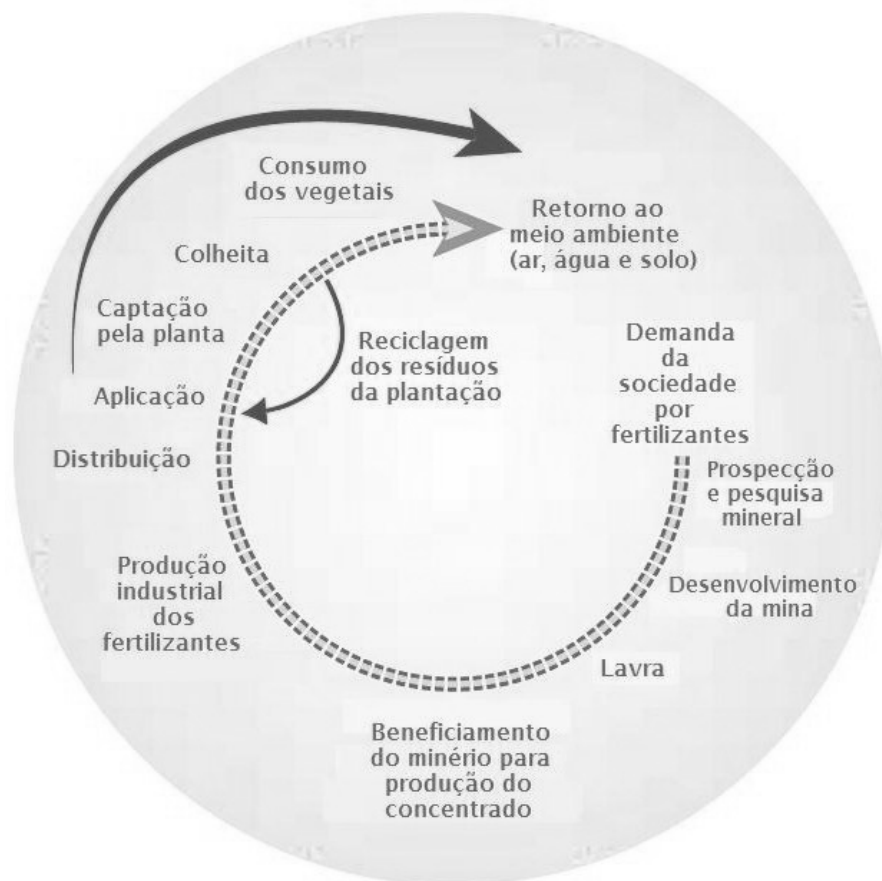
Delimitação da abrangência

O tema meio ambiente na produção de fertilizantes fosfatados no Brasil abrange, a rigor, desde as atividades que precedem a produção dos insumos e matérias-primas, até a etapa de aplicação dos produtos nas plantações, passando por todos os estágios intermediários, como a mineração, o beneficiamento dos minérios, a fabricação dos produtos intermediários, a produção dos diversos tipos de fertilizantes e sua distribuição até os locais de consumo. A Figura 1 ilustra este ciclo de vida para os fertilizantes minerais.

Em face desta amplitude e considerando-se as limitações de espaço, tempo e recursos, optou-se por definir uma linha de corte com relação às etapas do ciclo de vida: incluem-se a mineração, o beneficiamento e a industrialização destes produtos; ficam excluídas as etapas de prospecção e pesquisa mineral, no início do ciclo, e as etapas de distribuição, aplicação e outras, no final do ciclo.

¹ D.Sc Universidade de São Paulo (USP). Mineração, Geologia e Meio Ambiente Ltda. (MULTIGEO). E-mail: egdias@multigeo.com.br.

² Eng^o Mecânico. Universidade de São Paulo (USP). Instituto Mauá de Tecnologia. E-mail: rlajolo@gmail.com



Fonte: UNEP; IFA (2001) modificado.

Figura 1 - Ciclo de vida dos fertilizantes minerais.

Tipos de fertilizantes fosfatados e suas cadeias produtivas

Os fertilizantes fosfatados são produtos do processamento de rochas naturais ricas em fosfato e, dependendo da rota tecnológica adotada, podem ser mais ou menos solúveis. Outros capítulos deste livro tratam em detalhe das fontes de matérias-primas minerais, da indústria de fertilizantes fosfatados e das rotas tecnológicas em uso e em desenvolvimento. Com o propósito de organizar a análise dos impactos e aspectos ambientais, apresenta-se a seguir um breve resumo das principais etapas do processo produtivo e dos vários tipos de fertilizantes fosfatados produzidos no Brasil.

A cadeia produtiva de todos os fertilizantes fosfatados inicia-se na extração do minério, geralmente uma rocha rica em fosfato de cálcio do grupo da apatita. De acordo com Lapido-Loureiro *et al* (2008), a lavra das jazidas de fosfato no Brasil é realizada a céu aberto, é totalmente mecanizada, podendo ou não utilizar explosivos no desmonte.

O minério lavrado é geralmente submetido a operações de beneficiamento, que incluem vários estágios de cominuição e classificação, separação magnética, deslamagem e concentração por flotação. O produto gerado nesta etapa é o concentrado.

Visando ao aumento da solubilidade do fósforo contido no concentrado, promove-se seu ataque por ácido sulfúrico ou fosfórico, ou ambos, obtendo-se os superfosfatos. O superfosfato simples (SSP) resulta do ataque por ácido sulfúrico. Estes mesmos componentes (concentrado fosfático e ácido sulfúrico), em diferentes proporções, reagem formando ácido fosfórico. O ataque do concentrado fosfático por ácido fosfó-

rico resulta no superfosfato triplo (TSP); já a reação de amônia com ácido fosfórico produz o fosfato de monoamônio (MAP) e fosfato de diamônio (DAP). As figuras 2, 3 e 4, a seguir, ilustram o esquema de produção.

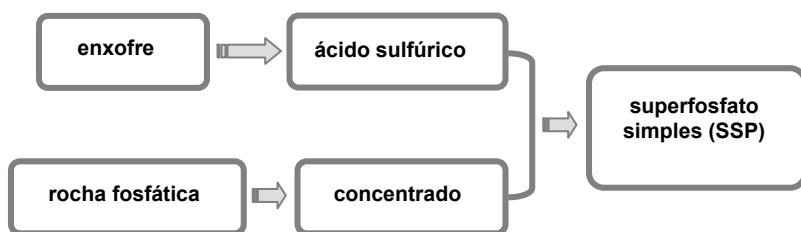


Figura 2 - Esquema de produção do superfosfato simples (SSP).

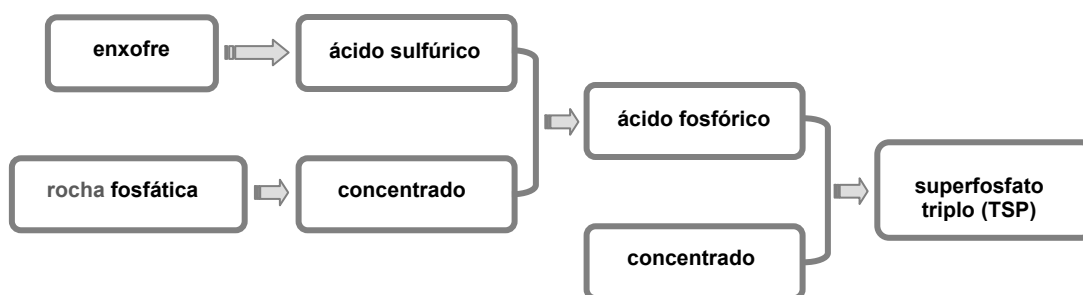


Figura 3 - Esquema de produção do superfosfato triplo (TSP).



Figura 4 - Esquema de produção de fosfatos de amônio (MAP/DAP).

O ácido sulfúrico empregado no processo é produzido a partir de enxofre, que na maior parte dos casos é importado, já que o Brasil não possui reservas economicamente viáveis de enxofre natural.

Com exceção das rotas alternativas e potenciais – que incluem a aplicação direta de pó de rocha, as rotas clorídrica ou nítrica, a lixiviação em pilhas ou tanques, a produção de fertilizantes organo-fosfatados e os termofosfatos – a indústria de fertilizantes fosfatados opera complexos minero-industriais que englobam operações de lavra, beneficiamento, produção de ácido sulfúrico e produção de ácido fosfórico. Estes componentes podem ou não operar em uma mesma área ou áreas próximas; no caso do complexo minero-químico de Tapira-Uberaba, da Fosfertil, por exemplo, o concentrado apatítico produzido em Tapira é transportado por mineroduto para as instalações industriais situadas a 120 km, na cidade de Uberaba.

Apresentam-se, a seguir, os principais aspectos e impactos ambientais associados a cada uma das grandes etapas da cadeia produtiva da indústria de fertilizantes fosfatados, quais sejam: a lavra, o beneficiamento e a industrialização, priorizando-se os processos mais significativos do ponto de vista ambiental.

Aspectos e impactos ambientais na lavra

O fluxograma simplificado das atividades normalmente desenvolvidas em uma mineração a céu aberto, apresentado a seguir (Figura 5), destaca os principais aspectos ambientais identificados em cada atividade, que são analisados na sequência.

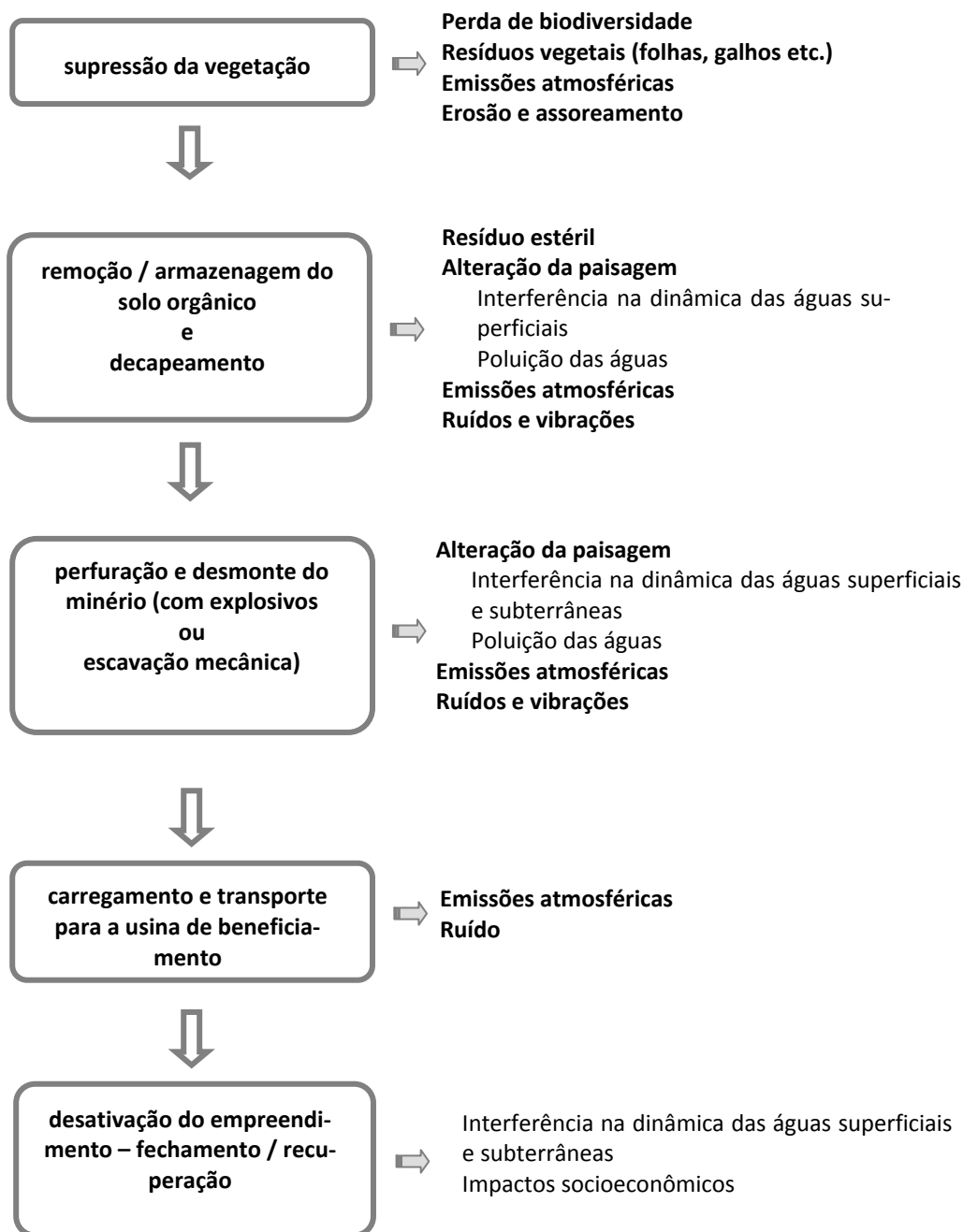


Figura 5 - Fluxograma de atividades e aspectos ambientais – lavra.

SUPRESSÃO DA VEGETAÇÃO

A supressão da vegetação que recobre a área a ser lavrada ou a ser utilizada para acessos, disposição de estéreis e rejeitos, pátios e edificações de apoio, quando necessária e dependendo do tipo de vegetação e da extensão das áreas a ser desmatadas, acarreta vários impactos ambientais negativos.

UNEP; IFA (2001) destacam que a área afetada por operações a céu aberto pode variar amplamente dependendo da geometria e espessura do depósito mineral, assim como das taxas de extração. De acordo com esses autores, a taxas de extração equivalentes, o aproveitamento de camadas planas e pouco espessas como as encontradas na Flórida (USA) afeta áreas muito mais extensas do que a mineração das camadas mais espessas ou fortemente inclinadas encontradas no Brasil e em Idaho (EUA).

O principal impacto associado à supressão da vegetação é a própria perda da biodiversidade; determinados biomas brasileiros, reduzidos atualmente a uma pequena fração de sua área de domínio original, têm importância ecológica reconhecida, abrigam espécies endêmicas de flora e fauna, representam um papel fundamental para a conservação da qualidade das águas, assim como para o equilíbrio das condições climáticas locais e regionais. Outros impactos estão associados à geração de resíduos – galhos e folhas –, a emissões atmosféricas – material particulado proveniente da ação dos ventos sobre o solo desprotegido – e ao aumento das taxas de erosão do solo e consequente assoreamento de corpos d'água.

A maior ou menor importância dos impactos causados por esta operação depende principalmente da extensão relativa das áreas a ser desmatadas quando comparadas com os remanescentes de vegetação nativa da região e da presença de espécies de flora e fauna ameaçadas de extinção. Estes fatores são extremamente variáveis conforme a região do País e o tipo de depósito mineral.

Os dados do projeto Anitápolis ilustram a análise dessa questão. Trata-se de projeto proposto pela Indústria de Fosfatos Catarinense Ltda. – (IFC), formada pela associação entre a Bunge Fertilizantes S.A., recentemente adquirida pela Vale S.A., e a Yara Brasil Fertilizantes S.A., que pretende implantar um complexo minero-industrial para aproveitamento de jazida de rocha fosfática situada no Município de Anitápolis, a cerca de 90 km de Florianópolis, no Estado de Santa Catarina. A Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA) concedeu, em abril de 2009, a Licença Ambiental Prévia para o empreendimento, válida por dois anos³.

De acordo com os dados apresentados no Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do empreendimento (PROMINER; CARUSO JR, 2008), para uma produção anual de 300 mil toneladas de minério durante 33 anos, terão de ser suprimidos aproximadamente 280 ha de vegetação arbórea nativa em diversos estágios de regeneração. O projeto insere-se na área de domínio do Bioma Mata Atlântica, cujos remanescentes florestais são estimados em 7 a 8% de sua extensão original. De acordo com Ibama (2009), a Mata Atlântica é a quinta área mais ameaçada e rica em espécies endêmicas do mundo.

REMOÇÃO DO SOLO ORGÂNICO E DECAPEAMENTO

A remoção do solo orgânico e sua armazenagem para uso futuro constituem uma das boas práticas amplamente adotadas em empreendimentos de mineração para evitar a perda deste importante recurso. O decapeamento é a operação de remoção da camada de solo de alteração, minério marginal ou estéril que recobre o depósito mineral de interesse. Dependendo do tipo de estéril, esta operação pode ser realizada com auxílio de escavadeiras ou mediante uso de explosivos para desmonte ou desagregação do material, que é geralmente transportado em caminhões para o local de disposição.

Vários impactos ambientais negativos podem ser causados pelas atividades de decapeamento. As escavações, detonações, operações de carregamento do material e o deslocamento de veículos e máquinas so-

³ Em setembro de 2009, a Justiça Federal deferiu liminar suspendendo, até o julgamento final da ação, os efeitos da Licença Ambiental Prévia concedida pela FATMA.

bre vias não pavimentadas favorecem a emissão de material particulado que pode ser transportado para áreas vizinhas.

Tais operações geram ruídos e, quando há emprego de explosivos, vibrações que são transmitidas pelo ar ou pelo solo. A ação das chuvas sobre áreas desprotegidas pode carrear sólidos para os corpos d'água, assoreando-os e prejudicando a qualidade de suas águas pelo aumento da turbidez e da concentração de sólidos.

Em muitos casos as áreas de decapeamento são cortadas por cursos d'água, cujo desvio é necessário. Juntamente com os outros fatores que afetam as águas, esta interferência na dinâmica das águas superficiais pode ter consequências negativas importantes sobre a fauna aquática e sobre os usos da água – abastecimento, irrigação etc.

A disposição dos minérios marginais e estéreis é uma questão importante na mineração de minerais fosfatados devido às quantidades envolvidas e à complexidade dos minerais fosfatados, do ponto de vista de sua mineralogia. As quantidades estão diretamente relacionadas às características dos depósitos e dependem da relação estéril/minério. Esta relação é bastante variável de mina para mina e até entre frentes de lavra segundo Lapido-Loureiro *et al* (2005), que exemplifica com os casos da mina de Cajati (1,4) e Catalão – Ultrafértil (0,8 a 1,0).

Uma mina com relação estéril/minério igual a 1,0, por exemplo, irá gerar quantidades de estéril equivalentes à produção bruta total de minério ao longo de sua vida útil. No caso do projeto Anitápolis, citado anteriormente, serão gerados cerca de 12 milhões de metros cúbicos de estéril para a produção de 25 milhões de metros cúbicos de rocha fosfática. Para acomodar essas grandes quantidades de material, os depósitos de estéril ocupam grandes áreas e são responsáveis por importantes alterações na paisagem local.

O Complexo de Tapira, conforme descrito por Araújo *et al* (2002), ocupa cerca de 7,8 mil hectares e movimentada anualmente aproximadamente 28 milhões de toneladas entre minério e estéril. Uma camada de estéril com espessura de 30 a 40 metros e uma camada de minério de titânio (ainda sem aproveitamento econômico) com 25 a 30 metros de espessura têm de ser removidas para permitir a lavra do minério. Estes materiais são estocados em pilhas, ocupando grande parte da área diretamente afetada do complexo.

A complexa mineralogia dos minerais fosfatados pode representar um agravante dos impactos relacionados à disposição dos estéreis e minérios marginais, uma vez que os efluentes atmosféricos e líquidos podem conter substâncias tóxicas ou radioativas.

De acordo com Lapido-Loureiro *et al* (2008), praticamente todos os elementos podem ser encontrados em minerais fosfatados, uma vez que o radical PO_4 combina-se com mais de 30 elementos para formar esses minerais, que podem apresentar um grande número e variedade de substituições iônicas, como CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , CrO_4^{2-} , VO_4^{3-} , ou pequenas quantidades de UO_4^{2-} , AsO_4^{2-} ou SiO_4^{4-} . Já o radical Ca^{2+} , também presente na apatita, pode ser substituído por íons positivos como elementos de terras-raras, urânio e chumbo, além de Na^+ , Sr^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Sc^{2+} , ETR^{3+} (DUTRA; FORMOSO, 1995 *apud* LAPIDO-LOUREIRO *et al*, 2008).

EXTRAÇÃO DO MINÉRIO

A etapa de extração do minério é caracterizada por atividades muito semelhantes às da etapa de decapeamento, podendo ser executada com auxílio de escavadeiras ou requerer a utilização de explosivos, dependendo do tipo de minério. As semelhanças estão presentes também nos aspectos ambientais associados: alterações na paisagem, interferência na dinâmica e qualidade das águas superficiais, emissões atmosféricas, ruídos e vibrações.

As principais diferenças entre a operação de decapeamento e a extração do minério, do ponto de vista ambiental, são as possíveis interferências na dinâmica e qualidade das águas subterrâneas e a não geração de resíduos sólidos em grande quantidade que caracteriza a etapa de decapeamento.



De acordo com UNEP, IFA (2001), a profundidade das cavas de minas de fosfato pode variar de poucos metros a mais de 100 m. Dependendo da profundidade da cava e da posição do nível freático, para garantir as operações de lavra faz-se necessário seu rebaixamento por meio de bombeamento. Esta operação tem potencial de causar vários impactos ambientais, tanto relacionados ao próprio rebaixamento do freático, como associados à contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

O rebaixamento do freático pode afetar as condições das áreas do entorno, prejudicando os sistemas de abastecimento de água utilizados pela população, causando redução de vazão em corpos d'água ou afetando a biota de áreas naturais próximas. Além disso, a água bombeada do fundo da cava pode carrear contaminantes provenientes do minério ou das operações de lavra, como óleos e graxas oriundos de vazamentos de veículos e máquinas. Em outras palavras, o bombeamento de água do fundo da cava retira água limpa do freático e devolve água eventualmente contaminada para o meio.

CARREGAMENTO E TRANSPORTE

O transporte do minério da frente de lavra para a usina de beneficiamento é feito em caminhões, que são carregados com auxílio de carregadeiras. Estas operações têm potencial de causar poluição do ar pelo lançamento na atmosfera de gases emitidos pelos motores de combustão e de poeiras levantadas pelo tráfego de veículos em vias não pavimentadas e pelo próprio manuseio do minério. Além disso, são operações geradoras de ruídos e favorecem a contaminação do solo e das águas – superficiais e subterrâneas – pelo lançamento de óleos e graxas provenientes de veículos e máquinas.

DESATIVAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A maior parte dos impactos sobre o meio físico e biótico associados a esta etapa da vida de um empreendimento mineiro é positiva. Os principais impactos negativos relacionam-se ao meio socioeconômico, pois o encerramento da atividade pode acarretar desemprego e vários impactos na economia local ou regional. A importância desses impactos depende muito da própria importância do empreendimento com relação à socioeconomia local ou regional.

Com relação aos outros componentes do meio ambiente, merece destaque os impactos sobre a dinâmica das águas superficiais e subterrâneas. Com o fechamento da mina, cessa o bombeamento de água da cava, formando-se grandes lagos que podem representar risco às populações e à fauna da região. Uma nova dinâmica se estabelece nesta etapa e a vazão dos corpos d'água afetados durante a operação da mina pode ser parcial ou totalmente recuperada. Mas esta exposição das águas do aquífero freático favorece sua contaminação, pois as lagoas formadas pela inundação de cavas de mineração, se não houver controle, podem receber cargas poluentes que irão contaminar o aquífero.

Considerações sobre os aspectos ambientais relevantes na etapa de lavra

Na etapa de mineração, mais do que nas outras etapas, a previsão e a avaliação dos impactos ambientais dependem das condições específicas de cada projeto. Considerando as principais minas de fosfato do Brasil, no entanto, algumas questões merecem destaque.

Vegetação – A necessidade de supressão da vegetação representa um dos principais obstáculos à implantação de novos projetos. O principal impacto associado é a própria perda da biodiversidade, de espécies endêmicas de flora e fauna, nem sempre plenamente conhecidas. Esta é tipicamente uma questão que envolve conflito de valores, de um lado o aproveitamento do recurso mineral, de outro a conservação da floresta e da biodiversidade. Para fazer frente a estes impactos – irreversíveis e praticamente não mitigáveis – plantios compensatórios são usualmente propostos pelos empreendedores ou exigidos pelos órgãos ambientais. Mas nem sempre é fácil encontrar áreas adequadas para esses plantios na mesma região em que haverá a supressão. Mesmo quando esta questão é solucionada satisfatoriamente, o efeito compensatório da medida somente será pleno quando a vegetação plantada atingir um estágio avançado e sustentável, o que deverá ocorrer várias décadas depois da supressão.

Nível freático – O rebaixamento do nível freático pode prejudicar o abastecimento de água de populações, reduzir vazões em corpos d'água, afetar a biota de áreas naturais próximas ou carrear contaminantes para as águas superficiais do entorno. Boas práticas ambientais em operações de lavra são capazes de impedir o lançamento de poluentes para o meio ambiente, mas as alterações nas vazões e suas consequências nem sempre são possíveis de ser evitadas, devendo ser bem estudadas previamente e durante a operação do empreendimento e compensadas devidamente.

Ao final da vida da mina, os grandes lagos formados podem representar risco de acidentes ou vias de contaminação do aquífero. Tecnicamente é possível controlar riscos e contaminação, mas a gestão de áreas após o fechamento das minas é sempre mais problemática, exigindo fiscalização por parte do poder público e responsabilidade por parte dos empreendedores.

Estéreis e minérios marginais – As grandes quantidades desses materiais e a complexidade de sua mineralogia fazem da questão de sua disposição uma questão importante, principalmente quando medidas de controle não são adequadamente implementadas. As medidas necessárias para evitar o avanço dos processos de erosão eólica e pluvial são bastante conhecidas e já estão incorporadas às boas práticas do setor. Dependendo das características dos materiais estéreis e minérios marginais e da localização da mina, é importante buscar alternativas de utilização para esses materiais, de modo a reduzir os volumes para disposição e, conseqüentemente, as áreas ocupadas e as alterações na paisagem.

Aspectos e impactos no beneficiamento

Para o processamento dos minérios fosfáticos no Brasil, Lapido-Loureiro *et al* (2008) identificam os seguintes grupos de operações:

- britagem primária, secundária e terciária.
- estocagem e homogeneização.
- moagem primária e separação magnética de baixo campo.
- moagem secundária e classificação.
- deslamagem;
- concentração por flotação e espessamento.

O beneficiamento do minério fosfático envolve, de modo geral, esses seis grupos de operações e cada um dos quais pode ser desdobrado em vários outros; apesar disso, do ponto de vista da identificação dos aspectos e impactos ambientais, o processo pode ser examinado como um todo. O esquema da Figura 6 mostra as principais interações com o ambiente.

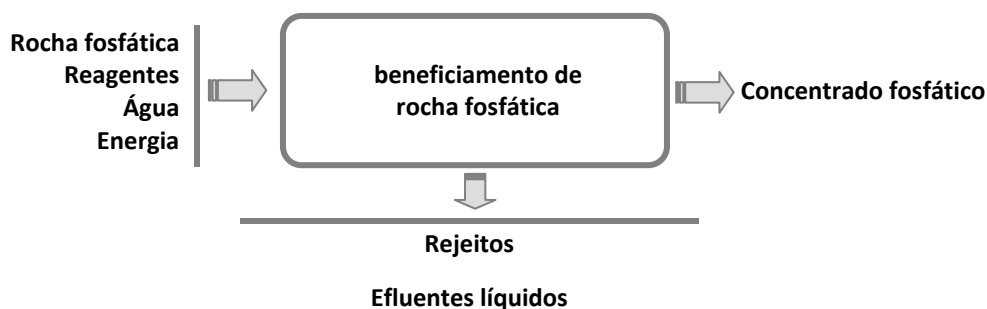


Figura 6 - Aspectos ambientais do processo de beneficiamento de rocha fosfática.

CONSUMO DE ÁGUA

No beneficiamento de rocha fosfática, a maior parte das operações é desenvolvida a úmido, razão pela qual se utiliza muita água no processo. Dependendo da disponibilidade deste recurso natural na região, esse aspecto pode implicar importantes impactos ambientais locais e regionais.

O projeto Anitápolis ilustra esta questão. De acordo com Tucci *et al* (2009), as atividades previstas (que incluem lavra, beneficiamento e unidade industrial) irão consumir cerca de 777 m³/h de água limpa, captada do rio Pinheiros, cuja vazão média é de 0,629 m³/s (que equivale a 2.264 m³/h). Ou seja, o projeto irá requerer mais de 30% da vazão média da bacia hidrográfica de abastecimento. O projeto prevê a manutenção de uma vazão mínima de 537 m³/h, ou seja, pouco mais de 20% da vazão média da bacia.

A avaliação da importância deste impacto irá depender do contexto local de recursos hídricos, se são escassos ou abundantes frente à demanda para os vários usos requeridos para as demais atividades desenvolvidas no entorno. Mesmo que o consumo de água do empreendimento não comprometa a disponibilidade de água para os demais usos, a redução da vazão do corpo d'água a jusante do empreendimento pode causar impactos na fauna aquática.

CONSUMO DE ENERGIA

Para reduzir as distâncias de transporte de grandes quantidades de minério bruto, as plantas de beneficiamento localizam-se sempre o mais próximo possível das jazidas minerais, em locais onde raramente há disponibilidade de energia elétrica na tensão e potências requeridas. Por esta razão, quase todos os empreendimentos de mineração de rochas fosfáticas requerem a instalação de linhas de transmissão de energia elétrica, às quais estão associados numerosos impactos ambientais, muitos deles de grande significância.

GERAÇÃO DE LAMAS E REJEITOS: BARRAGENS

As várias operações de beneficiamento de rocha fosfática visam à produção de concentrados com teores de P₂O₅ adequados à alimentação da indústria química. De acordo com Lapido-Loureiro *et al* (2008), cerca de 95% da capacidade nominal de produção de concentrados apatíticos no Brasil provém de complexos alcalino-carbonatíticos, cujas minas ativas apresentam teores de minério entre 5,5 e 15% e concentrado na faixa de 35 a 38%, como mostra o Quadro 1, a seguir:

Quadro 1 – Minas ativas de rochas fosfáticas do Brasil

Localização	Minério	Concentrado	
	P ₂ O ₅ (%)	P ₂ O ₅ (%)	CP (10 ³ t/ano)
Catalão - GO	9,00	36,5	905
Tapira - MG	8,36	35,5	1.600
Araxá - MG	14,88	35,0	530
Cajati - SP	5,50	36,0	560
Ouvidor - GO	14,16	38,0	1.208

Nota: CP: Capacidade de produção.

Fonte: Lapido-Loureiro (2008), modificado.

Esses números dão uma idéia da ordem de grandeza da quantidade de lamas e rejeitos gerados em cada um desses empreendimentos. No caso de Tapira, por exemplo, Araújo *et al* (2002) estimam que 85% da massa alimentada na usina de beneficiamento são descartados na forma de lamas, rejeitos magnéticos e rejeitos de flotação. Ou seja, para produzir os 1,6 milhões de t/ano de concentrado correspondentes à

capacidade de produção registrada por Lapido-Loureiro *et al* (2008), seriam gerados mais de 9 milhões de t/ano de lamas e rejeitos.

Com exceção dos rejeitos magnéticos, que em alguns casos são dispostos em pilhas, os demais são lançados em bacias de contenção, nas quais ocorre a sedimentação dos sólidos e a clarificação das águas, que são retomadas para utilização no processo. Para garantir a decantação dos sólidos são necessárias grandes áreas que, por limitações associadas ao relevo e drenagens naturais, são obtidas mediante o barramento de drenagens naturais.

Para conter as lamas e rejeitos gerados na produção de 300.000 t/ano de concentrado fosfático, as bacias de rejeito do projeto Anitápolis ocuparão cerca de 124 ha. Serão duas barragens, que irão interromper o fluxo hídrico e de fauna ao longo do rio Pinheiros, comprometendo mais de 60% do seu curso. (PROMINER; CARUSO JR, 2009).

Além da alteração nas vazões dos rios, da ocupação de áreas florestadas ou agricultáveis e do comprometimento das condições de vida da fauna aquática associados a esses sistemas de contenção, as barragens podem apresentar problemas de estabilidade geotécnica, colocando em risco, em caso de ruptura, todas as atividades e formas de ocupação existentes a jusante.

LANÇAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS

O processo de beneficiamento de rocha fosfática emprega vários reagentes, como coletores, depressores, corretores de pH e floculantes. Resíduos dessas substâncias podem estar presentes nos efluentes líquidos lançados nas drenagens naturais, causando alteração de sua qualidade.

Uma das principais alterações de qualidade das águas associadas a projetos de lavra e beneficiamento de rochas fosfatadas é o aumento do teor de fósforo. Áreas de ocorrência de minério fosfatado muitas vezes apresentam teores de fósforo nas águas naturais mesmo antes do início de qualquer atividade de mineração. Com as atividades de lavra e beneficiamento, esses teores podem aumentar, causando eutrofização de corpos d'água. Este fenômeno é causado pelo excesso de nutrientes (fósforo, nitrogênio, matéria orgânica) em um corpo d'água, o que acarreta a proliferação excessiva de algas que, ao entrarem em decomposição, fazem crescer o número de micro-organismos aeróbios e, por conseguinte, provocam escassez de oxigênio.

GERAÇÃO DE RUÍDO E EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Ruídos são gerados principalmente nas operações de britagem, moagem e classificação. Dependendo da localização da planta de beneficiamento com relação a eventuais receptores sensíveis, as principais fontes de ruído devem ser isoladas por barreiras físicas. Diversas medidas de atenuação de ruídos são conhecidas e consagradas, devendo ser projetadas conforme cada situação.

As emissões atmosféricas associadas às operações de beneficiamento de rocha fosfática ocorrem principalmente nas operações realizadas a seco – britagem, homogeneização e estocagem. Assim como no caso das emissões sonoras, as medidas de contenção de emissões atmosféricas neste tipo de atividade são bem conhecidas e consagradas.

Considerações sobre os aspectos ambientais relevantes na etapa de beneficiamento

Também na etapa de beneficiamento, a previsão e a avaliação dos impactos ambientais dependem fortemente do contexto de cada projeto. Considera-se nesta etapa que as principais questões ambientais estão relacionadas à geração de rejeitos e lamas em grandes quantidades e ao consumo de água.

Rejeitos e lamas, barragens e reservatórios – A enorme quantidade de rejeitos e lamas gerada no beneficiamento de minério fosfatado requer soluções de tratamento e disposição em grande escala. A solução

adotada amplamente no Brasil são as barragens de rejeito e respectivas bacias de contenção, nas quais ocorre a sedimentação dos sólidos e a clarificação das águas, que são retomadas para utilização no processo.

As bacias de contenção de rejeitos ocupam grandes áreas, disputadas com outros usos da terra, como agropecuária e conservação; o barramento de corpos d'água naturais promove alterações significativas em toda a dinâmica das águas, refletindo-se fortemente nas condições de vida da fauna aquática; se estes sistemas não forem bem dimensionados e operados, as águas a jusante podem ter sua qualidade alterada em prejuízo dos usos pretendidos pelas populações do entorno.

As barragens, por falha de projeto, construção, operação ou manutenção, podem se romper, liberando quantidades gigantescas de lamas e rejeitos, que promovem grandes desastres para todos os tipos de ocupação da terra situados a jusante.

Embora amplamente adotada em projetos de beneficiamento mineral, a disposição de rejeitos e lamas em barragens e bacias de contenção enfrenta resistência crescente por parte dos interessados na proteção do meio ambiente. Alimentada por casos de ruptura de barragens, de graves consequências para populações instaladas a jusante, ou pela não aceitação de que o corpos d'água pertencentes à sociedade como um todo sejam apropriados por empreendimentos privados, esta resistência crescente deve motivar o desenvolvimento ou aprimoramento de técnicas de espessamento que permitam dispor esses rejeitos em espaços menores, como pilhas. Soluções desse tipo terão de ser adotadas mesmo que os custos sejam maiores.

Consumo de água – As operações de beneficiamento de minério requerem grandes quantidades de água. Embora a prática de recirculação das águas seja amplamente difundida na mineração de fosfato no Brasil, há sempre necessidade de água nova para reposição de perdas ou saídas de água do sistema. Dependendo das características climáticas e da abundância ou escassez desse recurso ambiental, o consumo de água pode causar impactos ambientais significativos, seja na captação, que geralmente depende de barramentos, seja provocando escassez deste recurso para outras atividades desenvolvidas na região. Também esta é uma questão típica de conflito de interesses, mas pode ser atenuada com medidas de reuso. O espessamento dos rejeitos para disposição em pilhas é um dos caminhos para obtenção de melhores resultados na recirculação da água e, conseqüentemente, redução das quantidades de água nova requeridas.

Aspectos e impactos ambientais na industrialização

No ciclo de vida dos fertilizantes minerais, a etapa de industrialização compreende um diversificado conjunto de processos químicos e físicos (rotas), por meio dos quais as matérias-primas e insumos são transformados em produtos intermediários, fertilizantes simples e fertilizantes compostos com formulação adequada para cada tipo de cultura. Para caracterizar seus principais aspectos e impactos ambientais foram adotadas fronteiras que englobam essas rotas produtivas e se estendem da recepção das matérias-primas processadas pela indústria mineral ao estoque dos produtos, embalados ou a granel, para entrega aos distribuidores ou agricultores. Esses estágios são representados esquematicamente na Figura 7, na qual são destacadas as matérias-primas e produtos mais relevantes para este trabalho.

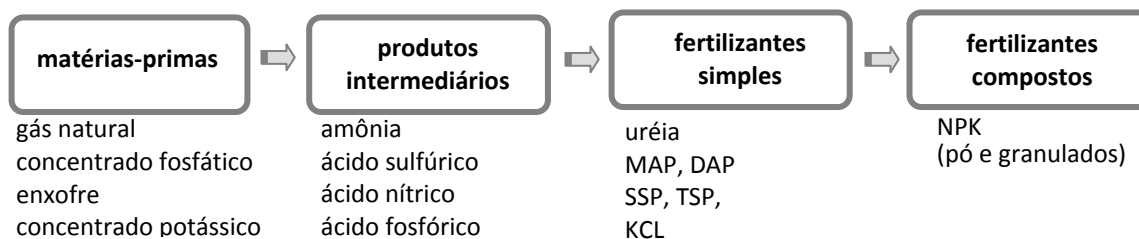


Figura 7 - Representação da produção industrial de fertilizantes minerais.

Apesar da variedade de produtos e rotas, de modo geral os fluxogramas básicos se mantêm há décadas, incorporando periodicamente inovações incrementais induzidas por alterações de qualidade e custos de matérias-primas, pela necessidade de aumento de competitividade, pela disponibilidade e custo da energia, e fatores ambientais, entre outros.

OS PRINCIPAIS ASPECTOS AMBIENTAIS

Os aspectos ambientais mais relevantes associados às fronteiras escolhidas dizem respeito: ao consumo de energia, principalmente gás natural; às emissões de gases de efeito estufa; às demais emissões atmosféricas; e à produção de resíduos sólidos, com predominância do fosfogesso. Este é considerado o principal desafio ambiental do setor, em razão do passivo ambiental já existente e do volume que continua a ser gerado, pois no processo de obtenção do ácido fosfórico pela via do ácido sulfúrico são produzidas em média de 4 a 5 toneladas de fosfogesso para cada tonelada de ácido fosfórico.

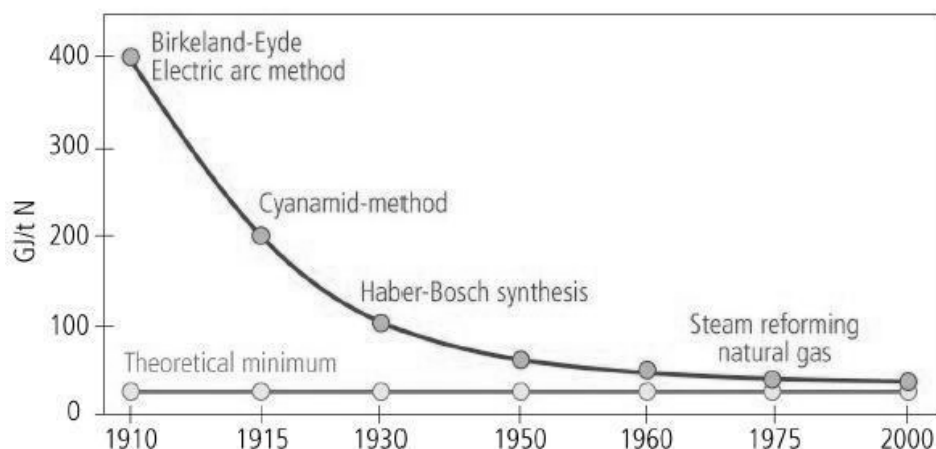
Energia e emissões de gases de efeito estufa

A indústria de fertilizantes é responsável por 1,2% do consumo de energia e da emissão antrópica global de gases de efeito estufa (SUKALAC, 2005). Dessa energia, estima-se que 92,5% sejam destinadas ao componente nitrogênio, 3% ao P_2O_5 , e 4,5% ao K_2O (KONGSHAUGH, 1998). Quanto aos gases de efeito estufa, este autor calcula as emissões globais do setor em 283 milhões de toneladas de CO_2 eq., das quais 134 milhões como gases de chaminé, 75 como CO_2 puro, e 74 como óxido nitroso, resultante principalmente da produção de ácido nítrico. Em consonância com o consumo energético, 92% das emissões estão associadas ao componente N, 3,5% ao P_2O_5 e 4,5% ao K_2O . Esses números indicam que a produção de fertilizantes fosfatados tem peso relativamente pequeno no consumo setorial de energia e em suas emissões de gases de efeito estufa.

A discrepância entre as participações do N, P_2O_5 , e K_2O no consumo e emissão setorial é consequência das características dos processos produtivos. Para ilustrar, ainda segundo estimativa de Kongshaugh (op. cit.), enquanto para a produção de uma tonelada de N ($NH_3 + NH_4$) são consumidos em torno de 44,5 GJ de energia e emitidas 2,7 t de CO_2 eq., para produzir uma tonelada de P_2O_5 (SSP), esses valores são respectivamente 3,2 GJ e 0,21 t CO_2 eq. Convém lembrar que na produção do ácido sulfúrico, produto intermediário para a produção do ácido fosfórico e do SSP, há um balanço energético positivo, com exportação líquida para outros processos de cerca de 6,0 GJ/t H_2SO_4 . E ainda que o gás carbônico emitido na produção da amônia pode ser parcialmente aproveitado para a produção de ureia, atenuando as emissões. Esta última observação reforça um aspecto relevante para a gestão ambiental e a economicidade no setor: o necessário nível de integração entre processos e complexos produtivos, visando a otimização dos balanços de massa e energia e das emissões.

Segundo Sukalac (op. cit.), os fluxogramas dos processos produtivos pouco mudaram nos últimos 30 ou 40 anos, mas houve no período expressivas reduções de consumo e emissões devido à incorporação de inovações tecnológicas e mudanças em padrões gerenciais. Em termos termodinâmicos, as eficiências de projeto se aproximaram do limite possível, conforme ilustra a Figura 8, na qual é apresentada a evolução do consumo específico de energia com diferentes rotas tecnológicas para a produção da amônia. A Figura 9 detalha essa tendência, mostrando a evolução do consumo médio global de energia na produção de amônia de 1965 a 1995, destacando-se a inflexão da curva por ocasião da crise do petróleo. Decorre daí que novas melhorias expressivas, neste caso, devem ser buscadas em rotas alternativas de síntese.

Por outro lado, Sukalac (2005) indica, baseado em Jensem e Kongshaugh (apud Sukalac, 2005), que há ainda potenciais expressivos de melhoria a explorar, pois são poucas as empresas que incorporam, em curto prazo, as melhores tecnologias e práticas disponíveis. Encontram-se instalações de diferentes idades, escalas de produção, padrões tecnológicos e gerenciais, operando em variados contextos institucionais, econômicos e ambientais. A indústria de fertilizantes europeia, por exemplo, que já passou por um intenso processo de reestruturação econômica, apresenta um consumo por tonelada de amônia 14% menor do que a média mundial.



Fonte: IFA, 2008

Figura 8 - Evolução do consumo de energia na produção da amônia com diferentes rotas tecnológicas.

O Quadro 2 ilustra essas possibilidades. Nele está indicada, na linha “média global hoje”, a estimativa global do consumo de energia e emissões na produção de amônia – como visto, muito próximos dos valores totais para todo o setor – com dados da IFA (2003). Na linha “BAT⁴ hoje” o autor apresenta os valores que os mesmos parâmetros teriam caso fossem adotadas as melhores tecnologias disponíveis, revelando uma economia potencial de energia e emissões respectivamente de 37% e 58%. Por outro lado, mantido o valor da produção mundial, o autor assinala que a “média global há trinta anos” para o consumo energético seria 83% maior com as tecnologias então adotadas, e apenas 14% maior se fossem adotadas as melhores tecnologias então conhecidas (BAT há 30 anos), apontando para um potencial de redução de 69%. Vale destacar que o consumo energético “global hoje” (100%) é muito próximo do consumo “BAT há trinta anos” (114%), sinalizando que 30 anos depois o setor como um todo mal incorporou as “BATs” daquela época. Raciocínio análogo vale para o cálculo das emissões.

Quadro 2 – Projeções de consumo de energia e emissões globais para a indústria de fertilizantes.

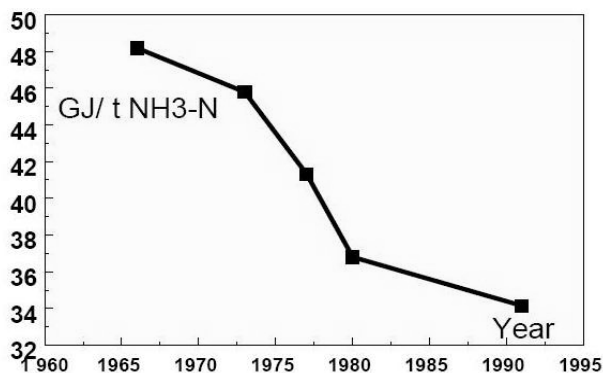
	GJ/ano	% de hoje	CO ₂ eq./ano (tx10 ⁶)	% de hoje
Média global há 30 anos	7925	183	676	183
BAT hoje	2714	63	118	42
Média global hoje	4342	100	279	100
BAT há 30 anos	4953	114	338	121

Fonte: Sukalac (2005), modificado

Em relação ao potencial de redução de emissões, que corresponde a cerca de 161 milhões de toneladas de CO₂ eq., Kongshaugh (1998) mostra que 32% estão relacionados à adoção de novas tecnologias de redução de N₂O, 29% à economia de combustíveis em plantas de amônia e 39% às melhorias energéticas em diferentes processos. Convém ressaltar que as novas tecnologias de redução de N₂O se demonstram efetivas, mas implicam custos consideráveis e são mais viáveis em plantas mais modernas.

Kongshaugh (1998) considera que esses potenciais possam ser efetivados até 2020 ou 2030, principalmente por meio de renovações tecnológicas. Ampliações de capacidade produtiva são momentos propícios para esses aprimoramentos, pois a maior parte deles depende de mudança de escala de produção para ser custo-efetivo.

⁴ BAT - Best Available Technologies.



Fonte: Kongshaugh, 1998.

Figura 9 - Evolução do consumo médio global de energia na produção de amônia.

Um exemplo de iniciativa na indústria brasileira é o projeto de redução de cerca de 85% das emissões de óxido nítrico na Unidade de Ácido Nítrico nº 2 da Fosfertil Piaçaguera, parcialmente financiada com a “comercialização de cerca de 837.352 créditos de carbono até 2012” (FOSFERTIL, 2009).

Por fim, o Quadro 3 ilustra que apesar de pouco impactantes no consumo e emissão setorial, em comparação àqueles de produção de nitrogênio, os processos de produção de P₂O₅ apresentam possibilidades expressivas de redução do consumo energético e da emissão por tonelada de produto.

Quadro 3 – Potencial de redução de consumo energético e emissões de gases de efeito estufa.

Produto	Consumo específico (GJ/t P ₂ O ₅)		Emissão específica (t CO ₂ eq./t P ₂ O ₅)	
	Global	BAT	Global	BAT
TSP	7,0	- 6,1	0,466	- 0,422
SSP	3,2	- 3,8	0,214	- 0,257

Fonte: Kongshaugh (1998).

Disposição de resíduos: fosfogesso é o desafio

Entre os resíduos sólidos gerados na produção de fertilizantes o mais preocupante é o fosfogesso, que resulta da acidulação do concentrado fosfático por ácido sulfúrico, um conjunto de reações que geram ácido fosfórico e sulfato de cálcio hidratado. Para cada tonelada de P₂O₅ são produzidas de 4 a 5 toneladas de fosfogesso. Segundo o pesquisador Wellington Massayuki Kanno, da Universidade de São Paulo, o Brasil tem um estoque de cerca de 150 milhões de toneladas desse material e uma produção anual de cerca de cinco milhões, com tendência ao crescimento (Site Inovação Tecnológica, 2009).

O fosfogesso incorpora uma parcela das impurezas da rocha de origem, que se transformam em contaminantes. De acordo com Mazzilli (1997), alguns contaminantes podem acarretar “um acréscimo da radioatividade natural devido à presença de produtos do decaimento do urânio e tório, particularmente Ra-226 e Th-232, que inviabilize seu uso como material de construção ou para outros propósitos”.

Normalmente, o fosfogesso é estocado a céu aberto, nas proximidades das unidades produtoras de ácido fosfórico, em pilhas que apresentam potencial de poluir o ambiente do ponto de vista químico e radiológico. Conforme Saueia (2006), “as principais vias de contaminação ambiental associadas a este armazenamento são: a contaminação atmosférica por fluoretos e outros elementos tóxicos; a poluição de águas subterrâneas por ânions lábeis, acidez, elementos traço e radionuclídeos; a emissão de radônio; a inalação de poeira radioativa e a exposição direta à radiação gama. Outros problemas de armazenagem do fosfogesso incluem o escoamento na superfície, a erosão, e a instabilidade das pilhas (Rutherford e col., 1994)”

Em linhas gerais, UNEP (1998) também aponta que as principais impurezas do fosfogesso, cujos teores variam dependendo da origem do minério e do controle das variáveis de processo, são: arsênio, níquel, cádmio, chumbo, alumínio, flúor e radio – que produz o gás radônio em seu processo de decaimento – além do próprio ácido fosfórico produzido na reação.

Dependendo da concentração, o cádmio é tóxico para os organismos vivos. Por essa razão, a *North Sea Declaration* já previa, em 1990, uma redução do teor de cádmio no fosfogesso lançado no Mar do Norte em 90% com relação aos teores de 1985 até o ano 2000. O objetivo era alcançar naquele ano o teor de 500 mg Cd/t de fosfogesso. Seu teor na rocha fosfática pode variar de 0 a 300 mg/kg P₂O₅, a depender de sua origem. Parte do cádmio fica retida no fosfogesso e parte no ácido fosfórico. Várias pesquisas estão sendo desenvolvidas com perspectivas promissoras para reduzir o teor de cádmio no ácido fosfórico, mas ainda sem resultados economicamente viáveis. Assim, o controle do teor de cádmio no produto e nos resíduos é realizado, atualmente, por meio da escolha do minério de menor teor, ou de mistura de minérios com teores variados (UNEP, 1998; IFA 1998).

Parte variável do flúor existente na rocha fosfática, dependendo das características da rocha e das condições em que se processam as reações, é incorporada no fosfogesso (UNEP, 1998; IFA 1998). Estudos realizados em pilhas de fosfogesso no Brasil constataram, além da presença de contaminantes como sulfato, fósforo e fluoreto, a tendência de acumulação deste último na base de argila da pilha e no solo da valeta de percolados (BORGES, 2003).

Do ponto de vista de gerenciamento ambiental, é essencial praticar um rigoroso controle da percolação de fluidos para o lençol freático em virtude da possibilidade de concentração dos contaminantes; além de cuidados especiais com o controle da água de transporte, que envolve sua reciclagem segura.

Várias alternativas têm sido estudadas e/ou adotadas para reduzir o passivo de fosfogesso, entre elas a produção de argamassa e cimento; a pavimentação de estradas; a produção de componentes de construção civil; e o uso como corretivo para solos salino-sódicos. No entanto, alguns problemas têm sido enfrentados, entre eles a distância entre as indústrias geradoras e os potenciais consumidores, que implica custos de transporte; e a falta de definições científicas e tecnológicas mais claras e consolidadas sobre os limites impostos à sua utilização pela presença dos contaminantes, em especial das emissões radiativas.

Entre os demais resíduos da indústria de fertilizantes, há numerosos resíduos tóxicos, cuja disposição é normalmente regulamentada pelos órgãos ambientais do País e para os quais há boas práticas disponíveis, cuja aplicação depende basicamente das empresas. Entre eles, incluem-se catalisadores usados, que contém óxidos metálicos e outras substâncias recicláveis; cinzas que podem ser reutilizadas para recuperar metais quando se produz ácido sulfúrico a partir de compostos que não o enxofre; lamas de tratamento de gases; resíduos e poeiras de filtragem.

Emissões atmosféricas

Além dos gases de efeito estufa, a indústria de fertilizantes emite várias outras substâncias que impactam a saúde e o meio ambiente. Normalmente, seus padrões de emissão são definidos e controlados pelos órgãos ambientais e as tecnologias de prevenção ou controle são conhecidas pelas empresas. A lacuna maior, nesse aspecto, diz respeito a substâncias que emitem partículas radiativas, que ainda carecem, em âmbito industrial, de regulamentação e normas suficientemente precisas e adequadas aos processos e produtos em que são utilizadas.

Óxidos de enxofre e névoa ácida

Emitidos nos processos de produção do ácido sulfúrico e fertilizantes fosfatados, são responsáveis pela chuva ácida e por fortes irritações nos pulmões. Os principais compostos são o H₂S, SO₂ e SO₃, que reagem rapidamente com água e outros poluentes para formar aerossóis de sulfatos. As tecnologias de controle são bem conhecidas e sua eficácia varia com a idade das instalações, adequação dos projetos e padrões de gestão das unidades (UNEP, 1998).

Compostos de flúor

Dependendo das concentrações, o flúor pode causar severos impactos na saúde e na vegetação, podendo atingir a cadeia alimentar de animais herbívoros. Essas emissões resultam da acidulação das rochas fosfáticas, que podem conter de 2% a 4,5% de flúor e quantidades variáveis de sílica, e ocorrem principalmente na forma SiF_4 e HF. De 35 a 40% do flúor são liberados nos gases de escape e podem ser recuperados por meio de processos conhecidos de tratamento de gases na forma de ácido fluorsilícico, que têm valor comercial, mas podem também ser neutralizados com carbonato de cálcio. O restante se divide entre o ácido fosfórico e o fosfogesso. Um pouco de flúor também pode ser encontrado nos efluentes líquidos do processo. Com processos eficientes de remoção, podem ser atingidas, em plantas novas, concentrações da ordem de 1 a 5 mg/Nm^3 ou 40 g/ t P_2O_5 . (UNEP 1998; IFA 1998)

Óxidos de nitrogênio

O óxido nitroso (N_2O) foi parcialmente abordado anteriormente (item “Energia e emissões de gases de efeito estufa”). É emitido na produção do ácido nítrico em proporção de 1,2 a 10 kg/t 100% HNO_3 , a depender da instalação. É um gás de efeito estufa e seu potencial de aquecimento é 310 vezes maior que o do CO_2 , sendo merecedor de atenção especial, sobretudo considerando que as emissões de N_2O do setor de fertilizantes industriais representam cerca de 6% das emissões antrópicas desse gás. O abatimento das emissões é normalmente feito por meio de redução catalítica não seletiva. Há técnicas capazes de abater em torno de 75% do óxido nitroso, mas são caras e mais adequadas a novas instalações. (UNEP, 1998)

Os demais óxidos de nitrogênio (NO_x) resultam da produção da amônia e do ácido nítrico, provocam chuva ácida, *smog* e são precursores do ozônio. Por essa razão, são críticos nas proximidades de áreas urbanas. São emitidos numa proporção de 1 a 2 kg NO_x / t N e 6 a 9 kg NO_x /t N, respectivamente pelos processos de produção de amônia e ácido nítrico. A redução catalítica seletiva é dos métodos mais utilizados para abatimento do NO_x e responsável pelo consumo mundial de cerca de meio milhão de toneladas de amônia por ano. A escolha das opções de abatimento depende das circunstâncias técnicas e econômicas de cada planta. (UNEP, 1998)

Amônia

A amônia e os aerossóis de amônio são constituintes naturais da atmosfera. A amônia pode reagir com SO_2 formando aerossóis de sulfato de amônio, que contribuem para a formação de *fog*, aumentando sua densidade e persistência. A depender da concentração, pode provocar irritação na mucosa da garganta e afetar a mucosa do nariz e dos olhos. Presente na água, pode ser perigosa para a vida de certas espécies de peixes. Há tecnologias e práticas para prevenção, recuperação e reciclagem das emissões, que são controladas pelos órgãos ambientais. (UNEP, 1998)

Radioatividade

A ocorrência e a intensidade das emissões radioativas dependem da origem da rocha fosfática. Esta pode conter urânio ou tório, com prevalência de um deles. O urânio presente na rocha é particionado entre o fosfogesso e o ácido fosfórico. Aceita-se que cerca de 40% dos radionuclídeos da rocha passam para o produto beneficiado, sendo 2/3 para o ácido e 1/3 para o fosfogesso (UNEP 1998).

A concentração atingida no ácido fosfórico depende das características da rocha, das variáveis de processo e da concentração final do ácido, podendo variar numa ampla faixa de 0,01 a 0,026 g/kg. Pesquisas vêm sendo realizadas para reduzir o teor de urânio no ácido fosfórico, mas as alternativas vislumbradas ainda são muito caras.

O decaimento do urânio produz o Ra^{226} , que apresenta intensa ocorrência no fosfogesso em razão da baixíssima solubilidade de seu sulfato. Este, por sua vez, decai gerando o gás radônio Ra^{222} , motivo de preocupação, particularmente quando as pilhas de fosfogesso se localizam próximo a concentrações humanas e sujeitas a ventos. Vários fosfogessos apresentam teores de urânio em torno de 0,015 a 0,03 g/kg.

Em caso de utilização de rochas com concentração elevada de radionuclídeos, os níveis de radioatividade no ácido e no fosfogesso devem ser monitoradas, pois os componentes radioativos podem se concentrar em várias partes da planta, em especial nos concentradores a vácuo.

Fosfatos minerais, fertilizantes fosfatados, fosfogesso e plantas de ácido fosfórico apresentam níveis de radioatividade normalmente abaixo dos valores limites internacionais prescritos pela European Atomic Energy Community (EURATOM), e não estão sujeitos a regulamentos específicos sobre radiação (UNEP, 1998)

Apesar disso, os impactos radiológicos do processo de produção de fertilizantes fosfatados, apesar de muito estudados, ainda constituem tema controverso, em especial nos meios científicos e dos profissionais de saúde pública. Para ilustrar, estudos como os de Saueia (2003) apontam valores negligenciáveis para o impacto radiológico na utilização do fosfogesso na agricultura, mas alertam para a necessidade de controles no caso de sua utilização em construção civil. A mesma autora, tratando da importância dos modelos de análise adotados, enfatiza que “modelos mais restritivos que consideram a inalação do radônio podem inviabilizar a utilização do fosfogesso de algumas procedências. Por outro lado, modelos menos restritivos permitem a utilização de todo o fosfogesso de procedência nacional” (Saueia, 1998). Rajkovic e Toskovic (2002), contudo, consideram que “na opinião da maioria dos especialistas não há nível negligenciável de emissão radiativa”.

Poeiras

Na indústria de fertilizantes há muita manipulação de produtos a granel – pós ou granulados – em operações potencialmente geradoras de grandes quantidades de particulados. Isso ocorre na produção, no transporte de matérias-primas e produtos finais e na manipulação no campo, exigindo práticas adequadas de gestão e controle, amplamente conhecidas.

Considerações sobre os aspectos ambientais relevantes na etapa de industrialização

Na etapa de industrialização, a possível intensificação dos impactos ambientais devido ao aumento de produção está associada ao consumo de energia, em especial o gás natural; à emissão dos gases de efeito estufa e outras emissões atmosféricas; e à geração de resíduos sólidos, principalmente o fosfogesso.

Encontrar uma solução para o fosfogesso é hoje o principal desafio da indústria de fertilizantes em matéria ambiental. Ele já constitui significativo passivo ambiental que, mantidas as atuais circunstâncias, deve continuar a crescer na razão direta da expansão da produção, em virtude da rota tecnológica adotada.

Para vencer esse desafio, três tarefas devem ser prioritariamente enfrentadas: a consolidação e avaliação de trabalhos científicos, normas e documentos legais existentes a respeito do fosfogesso, como ponto de partida para regulamentar sua disposição, manipulação e uso; a promoção de um intenso trabalho de pesquisa e inovação tecnológica, visando a avaliação de sua utilização como insumo agrícola e industrial; e o estudo de alternativas para reduzir a incidência dos custos logísticos na viabilidade econômica de suas possíveis aplicações.

Por se tratar de tema controverso, em especial no que concerne às emissões radioativas, deve ser tratado de modo amplo e transparente, envolvendo todos os atores interessados – empresas, instituições de ciência e tecnologia, organismos de governo, entidades não governamentais, sociedade civil – e incorporar como pressupostos os princípios de prevenção e precaução.

No que diz respeito à energia e às emissões, destacam-se as seguintes questões:

- o consumo de energia e emissões de gases de efeito estufa do setor são significativos (1,2 % do total mundial); é razoável, portanto, considerar que possa estar sujeito, a médio prazo, a novas condições

nantes decorrentes da evolução das negociações internacionais e de iniciativas nacionais ou regionais em torno das mudanças climáticas.

- ainda neste campo, o principal potencial de prevenção e mitigação diz respeito aos compostos de nitrogênio, pois do total de energia e emissões setoriais 92% estão associados à sua produção. Apesar da eficiência dos processos modernos de produção de nitrogênio convergir para seu limite termodinâmico, ainda há potenciais de melhoria, pois nem todas as empresas adotam as *BAT – Best Available Technologies* simultaneamente, além de apresentarem ampla diversidade de idade, padrão tecnológico, níveis de inovação incremental, escala de produção e integração de processos. Apesar dos compostos fosfatados representarem apenas 3% do consumo de energia e emissões setoriais, também apresentam possibilidades de melhorias com relação aos patamares hoje existentes, pelas mesmas razões.

Conclusões gerais

É inegável a importância dos fertilizantes fosfatados para o setor agrícola, em particular para o desenvolvimento da produção de biocombustíveis, mas é também inegável que toda sua produção – lavra, beneficiamento e industrialização – tem grande potencial de causar impactos ambientais negativos significativos.

As principais questões a ser enfrentadas variam muito de projeto para projeto, principalmente na etapa de lavra em que se destacam os impactos relacionados à supressão de vegetação, ao rebaixamento do nível freático e à disposição de estéreis e minérios marginais.

Associados ao beneficiamento mineral, o grande volume de rejeitos está na raiz dos principais impactos ambientais, que se desdobram em questões relacionadas ao uso da terra e ao uso da água, já que as barragens de rejeitos e seus reservatórios ocupam terras agricultáveis ou áreas de conservação, além da apropriação de trechos do próprio corpo d'água, convertidos em componente do empreendimento.

O fosfogesso é o principal desafio ambiental na etapa de industrialização; apesar das numerosas soluções técnicas desenvolvidas e em desenvolvimento, seus estoques aumentam a cada ano. Falta regulamentação com base científica para sua disposição, manipulação e uso em diversos setores.

Merece destaque o fato de que as principais questões ambientais associadas à lavra e ao beneficiamento dos minerais fosfáticos encontram-se no campo dos conflitos, seja pelo uso da terra ou da água, seja pelo dilema maior entre conservação e desenvolvimento econômico. Na etapa de industrialização, que tem o fosfogesso em destaque, o papel do desenvolvimento científico e tecnológico pode ser muito mais decisivo na solução dos problemas.

Este quadro se reflete nitidamente no processo de licenciamento ambiental de empreendimentos voltados à produção de fertilizantes fosfatados. As atividades que formam a base da indústria – lavra e beneficiamento – têm seu licenciamento ambiental apoiado na Avaliação de Impacto Ambiental, que é um processo caracterizado pela publicidade, participação pública e decisão colegiada. Com relação às etapas de industrialização, o licenciamento ambiental é menos sujeito a conflitos de valores e obedece a padrões estabelecidos por normas legais e adota opções tecnológicas consagradas.

Na Avaliação de Impacto Ambiental, os estudos ambientais que dão suporte à análise da viabilidade ambiental dos empreendimentos abordam, em princípio, todos os fatores intervenientes – físicos, bióticos, sociais e econômicos. A análise dos estudos, contudo, é feita por técnicos do órgão ambiental competente e a decisão final é tomada pela autoridade ambiental. A participação pública é muitas vezes intensa e capaz de exercer fortes pressões em favor de um dos lados do conflito. Após a tomada de decisão, o conflito muitas vezes migra para o Poder Judiciário que, à luz de interpretação estrita das leis pode determinar a suspensão das licenças ambientais já concedidas.

Como consequência desse processo, o licenciamento ambiental de novas minas de fosfato no Brasil, quando envolve grandes conflitos com recursos naturais, tem enfrentado crescentes dificuldades. O equacionamento destas questões depende muito do aperfeiçoamento deste importante instrumento de

política ambiental que é a Avaliação de Impacto Ambiental, o que inclui necessariamente o treinamento e aprimoramento dos profissionais envolvidos na análise dos estudos. É preciso ainda repensar a composição dos colegiados que participam da tomada de decisões, de modo a garantir a representatividade de todos os envolvidos nos conflitos, inclusive o setor produtivo.

O setor produtivo, por seu turno, não pode limitar-se à adoção das melhores práticas, deve incorporar a preocupação com as questões ambientais já nas avaliações iniciais de viabilidade dos empreendimentos, considerando diferentes opções tecnológicas, inclusive alternativas de renúncia parcial de reservas ou aumento de custos quando o nível dos conflitos com a proteção ambiental assim o exigir. As diferentes opções tecnológicas para a solução de problemas importantes, como a disposição de rejeitos, utilização de resíduos, entre outros, devem ser vistas como questão estratégica pelo setor, que deve se associar a entidades voltadas à pesquisa científica e tecnológica para seu desenvolvimento ou aprimoramento.

Em conclusão, existem desafios a serem enfrentados, tanto do ponto de vista de políticas públicas e normatização, como no desenvolvimento científico e tecnológico de alternativas para a prevenção e mitigação dos impactos ambientais. Nesse sentido, a pró-atividade do setor no campo ambiental é cada vez mais importante, não apenas por sua responsabilidade com o planeta, mas pelo fato da componente ambiental se apresentar com ênfase crescente nas negociações comerciais internacionais.

Referências bibliográficas

- ARAÚJO, R.V.V.; SANTOS, R. L.C.; SOBRAL, L. G. (2002). Produção de fosfato no Brasil: complexo de mineração de Tapira / Fosfertil. In: ENTMM, 19, Recife, 2002. *Anais*. v. 1. p. 439-445. Disponível em <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-050-00.pdf>>. Acesso em 17 dez. 2008.
- BORGES, R.M.M. (2003). *Caracterização do fosfogesso no pólo industrial de Cubatão e investigação confirmatória da contaminação das águas subterrâneas*. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.
- FERNANDES, H. M.; RIO, M.A.P.; FRANKLIN, M. R. (2004). *Impactos radiológicos da indústria dos fosfatos*. CETEM Série Estudos e Documentos, n.56, 46p. Disponível em <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM_SED_56.pdf>. Acesso em 18 mar. 2009.
- FOSFERTIL (2009) *Projeto de abatimento de óxido nítrico na planta de ácido nítrico nº 2 da Fosfertil Piaçaguera*. Disponível em <http://www.fosfertil.com.br/www/mda/modulos/desenv_limpo/arquivos/Resumo%20do%20projeto%20de%20Abatimento%20de%20Óxido%20Nitroso%20em%20Piaçaguera.pdf>. Acesso em 20 mai. 2009.
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2009). *Ecossistemas brasileiros: Mata Atlântica* <http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/mata_atlantica.htm>. Acesso em 15 jul 2009.
- IFA - International Fertilizer Industry Association; UNEP - United Nations Environment Program. (1998). *The fertilizer industry, world food supplies and the environment*. IFA [ISBN: 2-9506299-2-X] Disponível em <<http://www.fertilizer.org/Home-Page/LIBRARY/Books-selection/Fertilizer-production-technology-and-distribution.html/The-Fertilizer-Industry-Food-Supplies-and-the-Environment.html>>. Acesso em 20 mar. 2009.
- IFA - International Fertilizer Association (2008). *Fertilizer and climate change*. May 2008. Disponível em <<http://www.fertilizer.org/ifa/Home-Page/SUSTAINABILITY/Climate-change>>. Acesso em 02 abr 2009.
- KONGSHAUGH, G. (1998). Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production. In: IFA Technical Conference, Marrakech, Morocco. 28 September-1 October 1998. *Proceedings*. Disponível em <www.fertilizer.org/ifa/Home-Page/LIBRARY/Publications.html/Energy-Consumption-and-Greenhouse-Gas-Emissions-in-Fertilizer-Production.html>. Acesso em 20 mar. 2009.

- LAPIDO-LOUREIRO, F. E., MONTE, M. B. M., NASCIMENTO, M. (2008). *Agrominerais – fosfato*. In: Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações. 2.ed. Disponível em <<http://www.cetem.gov.br/agrominerais/livros/07-agrominerais-fosfato.pdf>>. Acesso em 05 out. 2009
- MAZZILLI, B. (1997). Implicações radiológicas da utilização de fosfogesso como material de construção. In: *Ambiente Construído*, São Paulo, v.1, n.2, p. 17-22, jul/dez, 1997
- PROMINER PROJETOS S.C.; CARUSO JR ESTUDOS AMBIENTAIS LTDA. (2008) *Estudo de impacto ambiental – EIA*. IFC - Indústria de Fosfatados Catarinense Ltda. Anitápolis – SC. Volume VII – RIMA. REVISADO. Disponível em <<http://www.projetoanitapolis.com.br>>. Acesso em 22 mar. 2009.
- RAJKOVIC, M.B; TOSKOVIC, D.V. (2002). Investigation of the possibilities of phosphogypsum application for building partitioning walls elements of a prefabricated walls. *Acta Periodica Technologica, APTEFF*, 33,1-174 (2002). Disponível em <<http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/1450-7188/2002/1450-71880233071R.pdf>>. Acesso em 28 abr. 2010.
- SAUEIA, C.H. R. (1998). *Caracterização radioquímica do fosfogesso e implicações de sua utilização como material de construção*. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 1998.
- SAUEIA, C.H. R. (2006). *Distribuição elementar de radionuclídeos na produção e uso de fertilizantes fosfatados no Brasil*. São Paulo, 2006. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.
- SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA (2009). *Fosfogesso pode ser solução para habitações populares*. 12/12/2008. Disponível em www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/artigo=fosfogesso-construcao-blocos-habitacoes-populares. Acesso em 21 set. 2009.
- SUKALAC, K.E. (2005) *Technology transfer to reduce climate change impacts from the fertilizer industry. Presented at UNFCCC COP11/MOP1 side event "Knowledge Transfer to Reduce Greenhouse Gas Emissions: Lessons from the Fertilizer Industry"*, Montreal, Canada, 6 December 2005. <http://regserver.unfccc.int/seors/reports/archive.html?session_id=COP11-MOP1>. Acesso em 16 mar. 2009.
- TUCCI, C. E. M.; TASSI, R. D.; BUARQUE, D. C. (2009). *Avaliação do impacto nos usos da água do empreendimento da IFC na bacia do Braço do Norte em Santa Catarina*. In: Processo FATMA 2431/060 – Estudo de Impacto Ambiental – EIA. IFC – Indústria de Fosfatados Catarinense Ltda. Anitápolis – SC. Volume XIII. Complementação dos estudos da qualidade da água do rio Braço do Norte. Disponível em <<http://www.projetoanitapolis.com.br/paginas/Download.html>>. Acesso em 21 mar. 2009.
- UNEP - United Nations Environment Program; UNIDO – United Nations Industrial Development Organization; IFA - International Fertilizer Industry Association (1998). *Mineral fertilizer production and the environment*. Part 1. The fertilizer industry's manufacturing process and environmental issues. United Nations Publication [ISBN: 92-807-1640-9] Disponível em <<http://www.fertilizer.org/ifa/Home-Page/LIBRARY/Books-selection/>>. Acesso 20 mar. 2009.
- UNEP - United Nations Environment Program; IFA - International Fertilizer Industry Association (2001). *Environmental aspects of phosphate and potash mining*. United Nations Publication [ISBN: 92-807-2052-X] Disponível em <<http://www.fertilizer.org/Home-Page/LIBRARY/Books-selection/Fertilizer-production-technology-and-distribution.html/Environmental-Aspects-of-Phosphate-and-Potash-Mining.html>>. Acesso em 18 mar. 2009.

FOSFOGESSO: GERAÇÃO, DESTINO E DESAFIOS

ROBERTO MATTIOLI SILVA¹ E MARCO GIULIETTI²

Introdução

Fosfogesso é o nome dado ao sulfato de cálcio gerado na produção de ácido fosfórico, como resultado da reação entre a apatita presente no concentrado fosfático e o ácido sulfúrico em meio aquoso. Essa reação é necessária por ser a apatita muito pouco solúvel em água e em ambiente edáfico. A disponibilização do fósforo para as plantas é possível desde que ele seja solúvel ou solubilizado. O ácido sulfúrico dissociado em meio aquoso rompe a estrutura cristalina da apatita liberando o fósforo na forma iônica para a solução, facilitando a posterior absorção pelas plantas. O cálcio também liberado associa-se ao sulfato livre gerando o sulfato de cálcio, gesso, que na presença de fosfatos denomina-se fosfogesso. Dependendo das condições operacionais nas quais ocorre a reação entre o ácido sulfúrico e a apatita, o sulfato de cálcio pode ser hidratado na proporção molar de 2:1 (duas moléculas de sulfato de cálcio para uma de água) formando o hemihidrato, ou de 1:2 formando o dihidrato.

Há duas formas básicas de se produzir o fosfato solúvel, através do ataque sulfúrico:

- reação parcial, formando o superfosfato simples SSP, que contém majoritariamente fosfato monocálcico $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ e que incorpora o sulfato de cálcio dihidratado $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$, gesso, no produto final.
- reação total que forma o ácido fosfórico $[\text{H}_3\text{PO}_4]$ e o sulfato de cálcio dihidratado ou hemihidratado, que é separado do produto final, originando o fosfogesso.

Pela reação parcial, o gesso é levado à agricultura, contendo os elementos nutrientes secundários cálcio e enxofre, enquanto que pela reação total o fosfogesso gerado torna-se um resíduo. A reação parcial gera um produto com teor de fósforo, medido como P_2O_5 da ordem de 18% enquanto que a reação total gera o ácido fosfórico que pode dar origem a produtos com teores mais elevados de fósforo, até 60% de P_2O_5 . A decisão de usar um ou outro produto depende dos custos de produção e transporte e da cultura a ser adubada. Há que se avaliar também a conveniência de se evitar a produção do fosfogesso ou não.

Ácido fosfórico

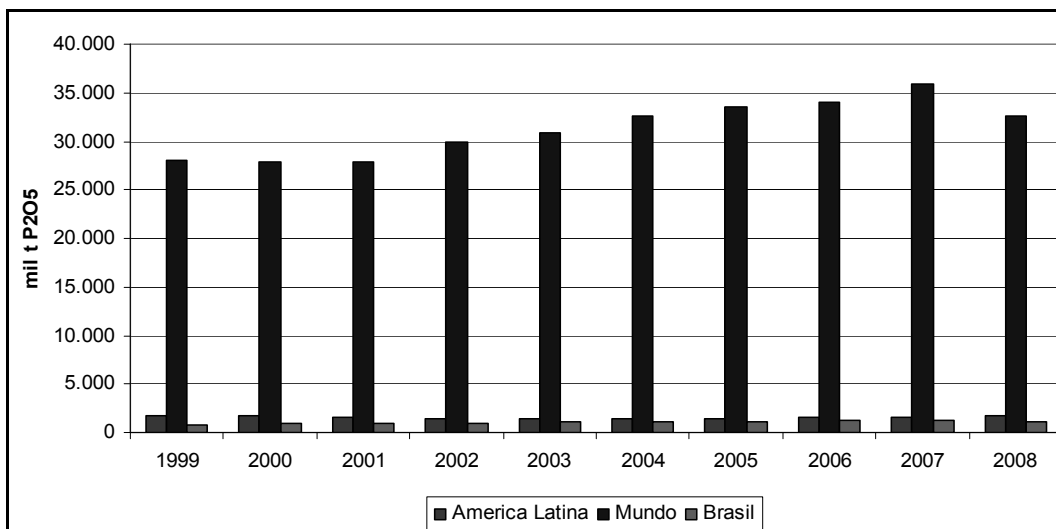
A produção de ácido fosfórico desempenha um relevante papel no setor de fertilizantes fosfatados. O potencial de suprimento mundial de rocha fosfática em 2008 atingiu a casa de 57 milhões de toneladas de P_2O_5 , sendo mais de 64% deste total, bem mais da metade, destinados à produção de ácido fosfórico, que já alcança de 33 a 35 milhões de t de P_2O_5 (Figura 1).

No Brasil, a produção anual de ácido fosfórico já ultrapassa a marca de 1,2 milhão de t de P_2O_5 (Figura 2), representando mais de 77% da produção da América Latina e pouco mais de 3% da produção mundial.

Considerando, em termos gerais, uma relação $\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}/\text{P}_2\text{O}_5$ da ordem de 5 t/t, pode-se inferir uma geração potencial de fosfogesso correspondente a 170 milhões de toneladas por ano, que deverão ser estocadas no mundo. No Brasil, utilizando-se uma razão de 4,7 t/t, chega-se a uma geração de 5,6 milhões de toneladas anuais de fosfogesso, contendo perto de 18-19% de S, o que representa algo em torno de um milhão de toneladas de enxofre contido.

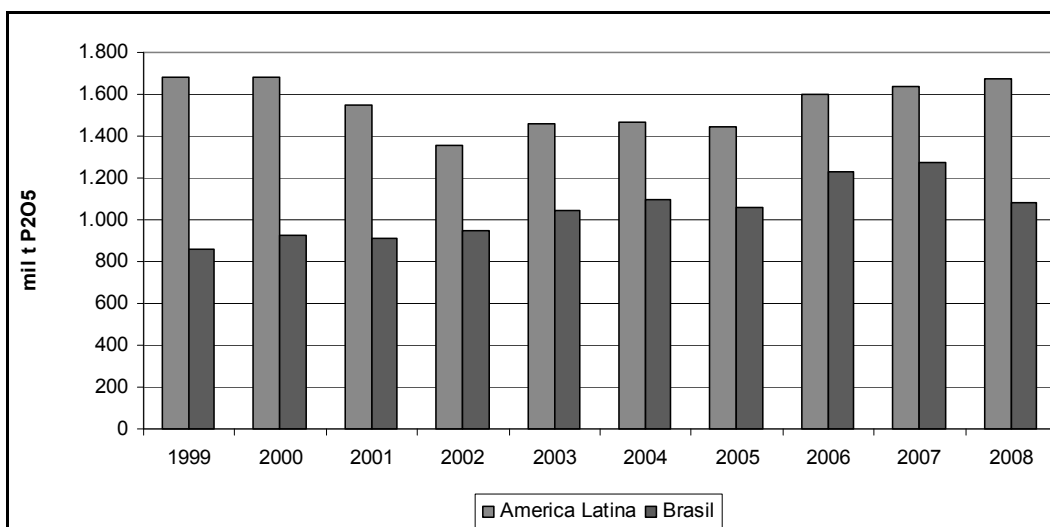
¹ D.Sc. Universidade de São Paulo (USP). Tecplan Consultoria e Planejamento. E-mail: tecplan.aax@terra.com.br

² D.Sc. Institut Nationale Polytechnique de Lorraine. Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). E-mail: giulietti@ufscar.br



Fonte: ANDA (2010); IFA (2010).

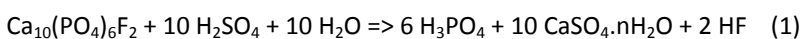
Figura 1 – Evolução da produção mundial de ácido fosfórico.



Fonte: ANDA (2010); IFA (2010).

Figura 2 – Evolução da produção brasileira de ácido fosfórico.

A produção de ácido fosfórico, pela via úmida, realiza-se através do ataque de concentrados fosfáticos com misturas de ácidos sulfúrico e fosfórico. Trata-se de uma reação química heterogênea, sólido-líquido, que resulta numa suspensão reacional onde estão presentes os grãos de apatita, minerais associados ao fosfato, cristais de sulfato de cálcio, cristais de sais complexos das impurezas minerais e ácidos fosfórico, sulfúrico, fluorídrico e fluossilícico. Pode ser representada de forma simplificada pela seguinte reação global:



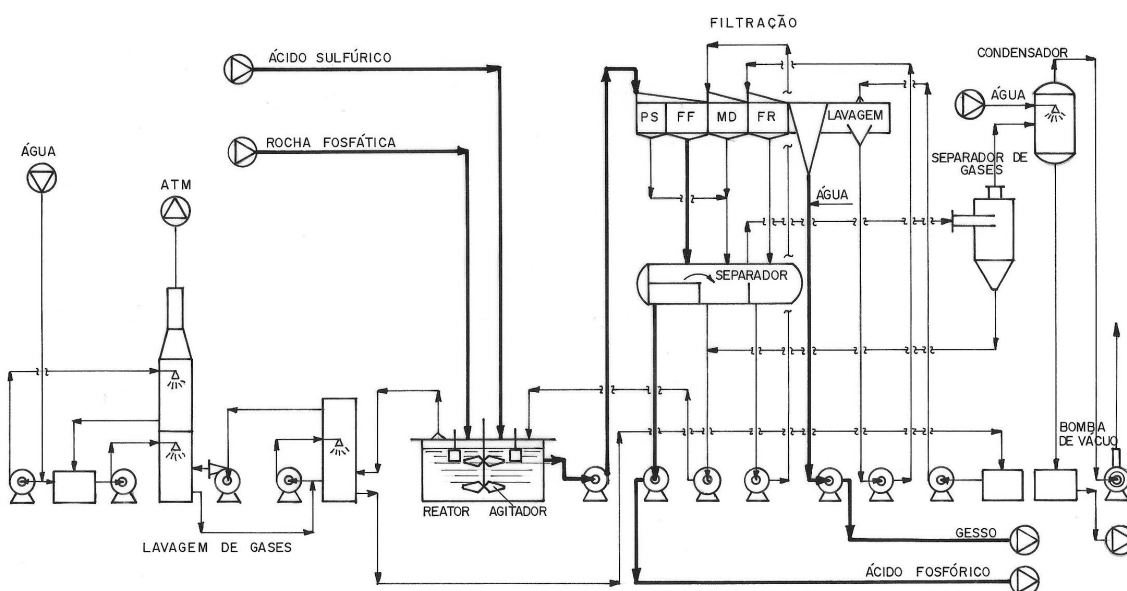
onde, $n = 2$ (dihidrato), $\frac{1}{2}$ (hemihidrato) ou 0 (anidrita).

As características físicas e químicas dos minerais e compostos envolvidos na obtenção de ácido fosfórico desempenham relevante influência sobre as reações químicas que ocorrem no sistema e sua compreen-

são se torna essencial na busca de condições operacionais que maximizem a eficiência do processo de obtenção de ácido fosfórico. O potencial de solubilização das impurezas minerais contidas nos concentrados apatíticos deve sempre ser avaliado, o que possibilita antever a extensão da contaminação do ácido fosfórico resultante, bem como a dimensão do impacto da mesma sobre toda a cadeia de processamento do fósforo.

A Figura 3 apresenta um diagrama de processo típico da produção de ácido fosfórico pela rota dihidrato (DH). Neste circuito, o fosfato é alimentado no reator, juntamente com a mistura de ácidos sulfúrico e de retorno. A suspensão fosfórica resultante é transferida para um filtro horizontal, onde se efetua a separação do fosfogesso.

A prática industrial tem demonstrado que a concepção de reatores em série, para processamento de concentrados fosfáticos ígneos na produção de ácido fosfórico via dihidrato, proporciona altos índices de produtividade e de recuperação de P_2O_5 . A mesma tendência tem sido observada para os reatores multi-compartimentados.



Notas: ATM=Atmosfera; PS=Pré-setor; FF= 1ª Filtração, MD= 2ª Filtração; FR= 3ª Filtração.

Figura 3 – Diagrama de processo da produção de ácido fosfórico pela rota dihidrato.

Rocha fosfática

Os concentrados apatíticos, resultantes do processo de beneficiamento mineral de fosfatos, são comercialmente conhecidos no setor de fertilizantes como rocha fosfática. Esses concentrados são constituídos principalmente pelos minerais portadores de fósforo - fluorapatita, hidroxiapatita e carbonato-apatita - e em menor quantidade, pelos minerais portadores de ferro, alumínio, sílica, magnésio, lantanídeos, entre outros.

Os depósitos fosfáticos podem ser de origem sedimentar, magmática (ígneas) e metamórfica. A gênese do depósito determina as características de cada concentrado fosfático, tais como, composição mineralógica, composição química, reatividade química, perfil de impurezas, granulometria e área superficial dos grãos, dentre outros fatores, que afetam o comportamento do processo de produção de ácido fosfórico, em termos de produtividade e recuperação de P_2O_5 .

As apatitas estão representadas por uma série isomórfica conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Dimensões de células unitárias de apatitas.

Apatita	Fórmula	a (Å)	c (Å)	c/a
Fluorapatita	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$	9,367	6,884	0,735
Clorapatita	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2$	9,642	6,764	0,702
Bromapatita	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Br}_2$	9,761	6,739	0,690
Hidroxiapatita	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$	9,423	6,875	0,730
Carbonato-apatita	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4, \text{CO}_3, \text{OH})_6(\text{F}, \text{OH})_2$	9,340	6,880	0,737

Fonte: (Deer et al. (1966); Corbridge (1989).

Destas, a fluorapatita é a variedade mais frequente, e o termo apatita é comumente utilizado como sinônimo de fluorapatita.

As apatitas apresentam sistema cristalino hexagonal (divisão hexagonal) e pertencem à classe cristalina bipiramidal-hexagonal. De modo geral os cristais apresentam hábito cristalino prismático longo, mas podem apresentar-se, também, como prismáticos curtos ou tabulares.

Os cristais do sistema hexagonal apresentam quatro eixos cristalográficos, sendo três deles, os eixos a , situados no plano horizontal, de igual comprimento, formando ângulos de 120° entre si. O quarto eixo - c - é de comprimento diferente e situa-se na vertical, perpendicularmente ao plano dos eixos a . Essa estrutura confere aos cristais um único eixo de simetria. Assim, somente duas dimensões a e c são suficientes para caracterizar a célula unitária.

As estruturas das hidroxi, cloro e bromapatitas são similares à da fluorapatita, diferenciando-se, contudo, quanto às dimensões da célula unitária, afetada pelos diferentes tamanhos dos íons F^- , Cl^- , Br^- e OH^- (Tabela 1). Na fórmula $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2$, o flúor, o cloro e a hidroxila podem se substituir mutuamente, de modo a formar os extremos da série isomórfica.

As impurezas presentes nos concentrados fosfáticos definem, geralmente, seu comportamento nos processos de fabricação de ácido fosfórico pela via úmida. Além das impurezas localizadas nos grãos das apatitas, como resultado das substituições isomórficas dos elementos constituintes, os minerais associados trazem consigo uma razoável quantidade de contaminações (Fe, Al, Ti, Mn, F, Sr, Ba, Mg, Na, K, Si, Cl, CO_3 , As, Terras Raras: TR = Ce, La etc. e compostos radioativos nucleídeos Ra, U, Th, etc.), que afetam o desempenho da unidade de ácido fosfórico. A produtividade da fábrica e a recuperação de P_2O_5 são importantes parâmetros que sofrem diretamente a influência da presença das impurezas no meio reacional.

Na composição mineralógica de concentrados fosfáticos nacionais de origem ígnea, podem ser encontrados - fosfatos secundários (supergênicos), - carbonatos calcícos e magnesianos, - sulfatos de baixa solubilidade, - minerais de ferro com diferentes níveis de alteração, - minerais de titânio e - silicatos, como quartzo, micas, piroxênios, anfibólios etc. (Tabela 2).

Tabela 2 – Composição mineralógica de concentrados fosfáticos

Minerais	Fórmula	Concentrados (%)		
		Araxá	Tapira	Catalão
FOSFATOS				
. apatita	$(Ca, Sr, Mg, Na)_{10}(PO_4, CO_3)_6(F, OH)_2$	87,4	87,9	88,0
. wavellita	$Al_3(OH)_3(PO_4)_2 \cdot 5H_2O$			
. secundários ^(a)	$(Sr, Ba)Al_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$			0,5
SULFATOS				
. barita	$BaSO_4$	7,7		1,0
CARBONATOS				
. calcita	$CaCO_3$		6,4	1,0
. dolomita	$CaMg(CO_3)_2$	0,3		
. magnesita	$MgCO_3$			
FERRO				
. magnetita	$FeO \cdot Fe_2O_3$			0,5
. goethita	$FeOOH$ ou $Fe_2O_3 \cdot H_2O$	2,9		
. limonita	$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$		1,9	0,5
TITÂNIO				
. anatásio	TiO_2			
. perovskita	$CaO \cdot TiO_2$		0,6	
. ilmenita	$FeO \cdot TiO_2$	1,0		2,0
SILICATOS				
. quartzo	SiO_2	0,8	0,3	2,0
. flogopita	$KMg_3(AlSi_3O_{10}) \cdot (OH)_2$			2,0
. moscovita	$KAl_2(AlSi_3O_{10}) \cdot (OH)_2$			
. biotita	$K(Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10}) \cdot (OH)_2$		0,7	
OUTROS				
TOTAL		100,0	100,0	100,0

Fonte: Banco de dados da Tecplan;

Notas: (a) gorceixita (Ba) e goiasita (Sr);

A solubilidade das impurezas minerais exerce influência sobre a cristalização e filtrabilidade do fosfogesso, corrosão dos materiais, produtividade, recuperação de P_2O_5 e qualidade do ácido fosfórico resultante. Esse efeito se estende por toda a cadeia de processamento de fósforo a jusante: produção de fertilizantes e fosfatos especiais.

Sulfato de cálcio

A fabricação de ácido fosfórico pela via úmida consiste, basicamente, do ataque de concentrados fosfáticos em meio reacional contendo uma mistura de ácidos fosfórico e sulfúrico. A apatita é solubilizada em tanques agitados, liberando seus componentes, dentre eles os íons Ca^{+2} , que, pela ação dos íons SO_4^{-2} presentes, precipitam-se na forma de cristais sulfato de cálcio - $CaSO_4 \cdot nH_2O$ - com diferentes níveis de hidratação:

- $n = 0$ anidrita (AH);
- $n = \frac{1}{2}$ hemihidrato ou bassanita (HH);
- $n = 2$ dihidrato ou fosfogesso (DH).

Os cristais de gesso dihidratado - $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ - apresentam hábito prismático, de formato tabular, com arestas biseladas. Pertencem ao sistema cristalino monoclinico, caracterizado por três eixos cristalográficos de comprimentos desiguais. Os eixos a e b e b e c formam ângulos de 90° entre si, mas a e c formam

um ângulo oblíquo entre α e β . Nos cristais monoclinicos, as posições do eixo b e do plano em que se situam os eixos a e c são referenciais de simetria. A célula unitária do gesso apresenta as seguintes dimensões:

a 10,47, b 15,15, c 6,28 Å e β 98°58'; suas constantes axiais, expressas pela relação $a:b:c$, são 0,691:1:0,415.

Os cristais de hemihidrato - $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ - pertencem ao sistema cristalino hexagonal, divisão romboédrica. O romboedro é constituído de seis faces, similar a um cubo, deformado na direção de um dos eixos de simetria. O hemihidrato existe sob duas formas, designadas por α e β , que apresentam propriedades físicas e químicas distintas (Tabela 3). A fase α -hemihidrato consiste de cristais grandes, compactos, com formas bem definidas e transparentes; a fase β -hemihidrato consiste de cristais pequenos e irregulares.

São conhecidas três fases cristalinas de anidrita, CaSO_4 : I, II e III. Nas condições normais de temperatura e pressão, somente as fases II e III são estáveis; a anidrita I é estável somente em temperaturas acima de 1.180 °C. A anidrita III, também denominada de anidrita solúvel, apresenta três formas: β -anidrita III, β -anidrita III' e α -anidrita III.

Tabela 3 – Características das fases cristalinas de sulfato de cálcio

Parâmetros	Fase cristalina						
	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$		CaSO_4 III		CaSO_4 II	CaSO_4 I
1. Nome da fase cristalina	dihidrato	hemihidrato		anidrita III (anidrita solúvel)		anidrita II	anidrita I
2. Formas alotrópicas		β	α	β -anidrita III β -anidrita III'	α -anidrita III	A II-s ^(a) A II-u ^(b) A II-E ^(c)	
3. Sistema cristalino	monoclinico	romboédrico		hexagonal		rômico	cúbico
4. Célula unitária, nm ^(f)							
	<i>a</i>	1,047	0,683	0,699		0,696	nd
	<i>b</i>	1,515	0,683	0,699		0,695	nd
	<i>c</i>	0,628	1,270	0,634		0,621	nd
5. Água de cristalização, % p/p	20,92	6,21	6,21	0,00		0,00	0,00
6. Densidade, g/cm ³	2,31	2,63	2,76	2,58		2,94	nd
7. Solubilidade, g/100 g de solução ^(e)	0,21	0,88	0,67	como hemihidrato		-0,27	
8. Massa molecular, g/gmol	172,17	145,15	145,15	136,14		136,14	136,14
9. Estabilidade termodinâmica, °C	< 40	metaestável		metaestável		40 - 1.180	> 1.180
10. Temperatura de obtenção, °C	< 40	120 - 180	80 - 180	290	110	300 - 900	
11. Propriedades termodinâmicas							
. ΔH° , kcal/gmol	-483,42	-376,35	-375,85	-339,58	-340,64	-342,76	nd
. ΔG° , kcal/gmol	-429,60	-343,18	-343,41	-312,87	-313,93	-315,93	nd
. S° , cal/grau.gmol	46,40	32,10	31,20	25,90	25,90	25,50	nd
. C_p , cal/grau.gmol	44,46	29,69	28,54	23,67	23,95	23,82	nd

Notas: (a) pouco solúvel e hidratação rápida; (b) insolúvel e hidratação lenta; (c) mistura de anidrita II e CaO; (d) nd – não determinado; (e) solubilidade em água @ 25 °C; (f) 1 nm = 10 Å; 10⁻¹⁰ m = 1 Å.

Fonte: (Wirsching, 1978; Dean, 1987).

A anidrita II ocorre comumente na natureza ou como resultado da desidratação do gesso, hemihidrato e anidrita III, nessa sequência. Os cristais de anidrita II são tabulares, espessos e prismáticos, paralelamente ao eixo b . Apresentam sistema cristalino ortorrômico (classe bipiramidal-rômica), que é caracterizada por três eixos cristalográficos de comprimento desigual, que fazem ângulos retos entre si. Esses três eixos são referenciais de simetria; perpendicularmente a cada um deles existe um plano de simetria, resultando dessa configuração um centro de simetria. A célula unitária da anidrita II - a 6,960, b 6,950 e c 6,210 Å - apresenta dois parâmetros com dimensões muito próximas e suas relações axiais, $a:b:c$, são iguais a 1,001:1:0,894. As anidritas III (solúvel) e I apresentam sistemas cristalinos hexagonal (divisão hexagonal) e

isométrico (cúbico), respectivamente. No sistema isométrico os eixos cristalográficos apresentam comprimentos iguais ($a = b = c$), formando ângulos retos ($\alpha = \beta = \gamma$) entre si.

O grau de hidratação do sulfato de cálcio altera profundamente suas características cristalográficas e propriedades termodinâmicas. O tamanho da célula unitária tende a aumentar com a elevação do teor de água combinada (água de cristalização). Termodinamicamente, a energia livre de formação das fases cristalinas de sulfato de cálcio (ΔG°) diminui com o aumento do teor de água de cristalização, indicando que a estabilidade das fases cristalinas aumenta com o grau de hidratação, na seguinte ordem:

dihidrato (DH) > hemihidrato (HH) > anidrita (AH).

Nos processos de produção de ácido fosfórico via úmida, a partir de ácido sulfúrico, a estabilidade das fases cristalinas de sulfato de cálcio formado no meio reacional depende das condições operacionais utilizadas nos reatores, notadamente a temperatura e os teores de H_3PO_4 e SO_4^{2-} livre na fase líquida. Esses parâmetros modificam a atividade da água e, quanto mais elevados, maior a tendência para a formação de fases hemi e desidratada de sulfato de cálcio.

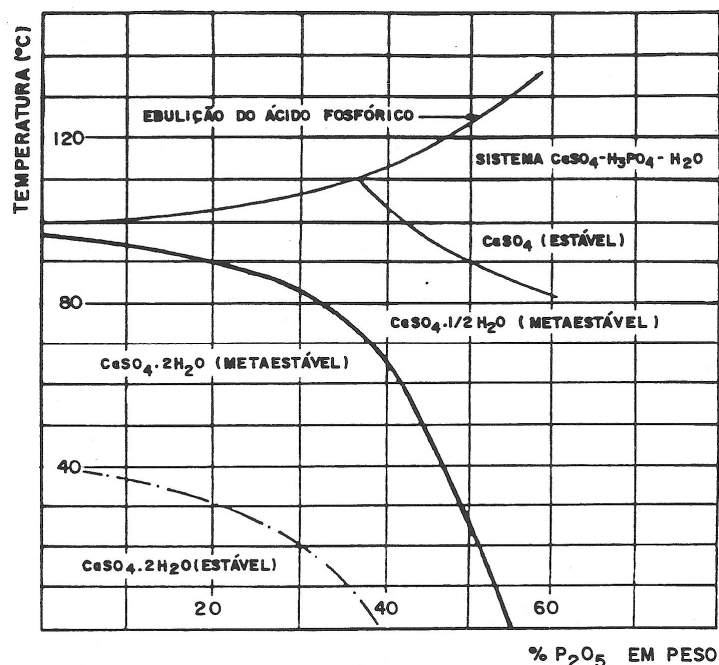
Na produção de ácido fosfórico, busca-se manter o teor de P_2O_5 o mais alto possível, no meio reacional, a fim de minimizar a remoção da quantidade de água na etapa de concentração. Temperaturas mais altas nos reatores possibilitam a redução do tamanho do sistema de resfriamento, apesar de acentuarem a corrosão dos equipamentos. Altos teores de P_2O_5 e temperaturas elevadas favorecem a precipitação do sulfato de cálcio na forma hemihidrato - $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ -, cuja separação exige filtros especialmente desenvolvidos para essa finalidade. Assim, numa unidade industrial operando pela rota dihidrato - $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ -, é de suma importância estabelecer as condições operacionais do sistema de reação - temperatura, teor de P_2O_5 , nível de sulfato etc. - que maximizem tanto a concentração do ácido obtido como a produtividade.

O teor de sulfato livre também afeta a definição das regiões de estabilidade, devido ao intenso efeito exercido pelo ácido sulfúrico sobre a atividade da água. No diagrama de fases, mostrado na Figura 4, podem ser visualizadas as regiões de estabilidade para o dihidrato. As condições de operação dos reatores de ácido fosfórico por essa rota ficam, em geral, ao redor dos seguintes valores: temperatura na faixa de 75-80°C e concentração de P_2O_5 entre 26 e 30% p/p. A rigor, não existe no diagrama um “ponto de operação”, mas sim uma “região de operação”, onde as variáveis de processo - temperatura, concentração de P_2O_5 e nível de sulfato -, além das impurezas minerais presentes na rocha fosfática, favorecem a cristalização do dihidrato, em detrimento do hemihidrato.

A estabilidade das fases hemihidrato/anidrita pode ser analisada de forma análoga, através da seguinte reação:



Analogamente, no diagrama de fases mostrado na Figura 4, pode ser visualizada a região de estabilidade para operações de produção de ácido fosfórico via $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$. As condições operacionais dos reatores de ácido fosfórico via hemihidrato situam-se, de modo geral, ao redor dos seguintes valores: temperatura na faixa de 90-100°C e concentração de P_2O_5 entre 42 e 50%. Também neste caso, não existe um “ponto de operação”, mas uma “região de operação”, onde as condições operacionais favorecem a cristalização do hemihidrato, em detrimento da anidrita.



Fonte: Slack, 1968.

Figura 4 – Diagrama de estabilidade de fases para o sistema $\text{CaSO}_4 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$.

Disposição do fosfogesso

As unidades de produção de ácido fosfórico devem de alguma forma dispor o fosfogesso gerado no processo. Atualmente 15% do fosfogesso gerado no mundo é reciclado como material de construção, fabricação de cimento, complemento de adubação, condicionador de solo. Os restantes 85% são dispostos em geral sem tratamento (Tayibi et al., 2009). No Brasil são reciclados cerca de 50% do fosfogesso gerado, sendo o restante disposto em pilhas.

Existem basicamente três maneiras de realizar o descarte do fosfogesso:

- retorno à mina de extração de fosfato.
- empilhamento em áreas próximas às unidades de produção.
- descarregamento em rios e oceanos, através de emissários.

Essa última forma vem sendo gradativamente abandonada pelo impacto causado ao meio ambiente próximo ao lançamento. A forma de disposição dependerá da disponibilidade de áreas apropriadas, da localização da unidade geradora, da legislação local e da relação com a comunidade local e ambiental. Como todo resíduo, o custo de disposição não é reembolsado, pois ele não é comercializado, assim, sempre existirá a tendência de se utilizar a solução mais barata, que nem sempre será a melhor, do ponto de vista ambiental, ou de longo prazo. Ao longo dos anos tem-se tentado transformar o fosfogesso de rejeito em resíduo ou subproduto comercializável (Freitas, 1992).

RETORNO À MINA DE FOSFATO

O retorno à mina só pode ser realizado de forma econômica se a unidade de produção de ácido fosfórico lhe for próxima. Existe uma unidade dessas na Carolina do Norte nos EUA que utiliza essa prática retornando o fosfogesso misturado com terra argilosa caulínica. Dessa forma, não há problema ambiental criado, sobretudo pelo fato da mistura fosfogesso argila ser geotecnicaamente estável. Há de se ressaltar a

especificidade dessa solução para esse tipo de combinação mina-fábrica de ácido fosfórico (Potash Corp, 2010).

DESCARGA EM OCEANOS E RIOS

A descarga de fosfogesso em corpos d'água é praticada por poucas indústrias de ácido fosfórico no mundo. As unidades produtoras do Marrocos e da África do Sul fazem essa descarga no Oceano Atlântico bombeando uma lama de fosfogesso resultante da mistura da torta dos filtros com a água do mar. De fato isso é possível, pois a carga descarregada é diluída e jogada em áreas com fortes correntes marítimas e em costas não habitadas, não havendo maiores problemas ambientais. A descarga em rios e oceanos com costas habitadas não é mais politicamente aceita (Wissa, 2010). No Brasil essa prática não é utilizada.

A maioria das plantas de ácido fosfórico existentes, em construção ou em projeto no mundo, não está localizada nas proximidades de corpos d'água que possam receber a carga de fosfogesso nelas produzida sem causar grandes impactos ambientais ou de forma econômica ou politicamente viável.

Do ponto de vista ambiental, os impactos ainda não foram totalmente avaliados. A solubilidade do gesso em água a temperatura ambiente é da ordem de 2,3 g/l e na água do mar de 3,5 g/l. Se a descarga for em mar aberto com correntes marítimas, a tendência do gesso é de se dispersar dissolvendo-se lentamente, alterando muito pouco a concentração de elementos químicos nele contidos, no corpo aquático marítimo. Além disso, pode contribuir para a redução da influência de metais pesados, fluoretos, radionuclídeos e ácidos presentes na lama do fosfogesso pela sua diluição, diminuindo a concentração desses compostos. Apesar disso, faltam estudos de longo prazo para avaliar consistentemente os impactos no ambiente próximo à descarga, das plantas que utilizam essa alternativa.

EMPILHAMENTO NO SOLO

A formação de pilhas de fosfogesso em áreas próximas à unidade de produção de ácido fosfórico é a maneira mais comumente usada pelas indústrias. Duas formas principais são utilizadas: a via úmida e a via seca. O empilhamento exige a disponibilidade de grandes áreas de armazenamento com sua respectiva impermeabilização. A utilização de uma ou outra forma dependerá de diversos fatores, econômicos, ambientais e políticos.

A via seca de disposição leva o fosfogesso diretamente da filtração para as pilhas de acumulação através de correias transportadoras ou caminhões. Essa torta contém cerca de 30% de umidade e P_2O_5 residual de cerca de 0,5 a 1,0%.

A via úmida de disposição leva o fosfogesso em suspensão, com cerca de 80% de umidade, composta de água e ácido residual da torta de filtração do ácido fosfórico. Essa suspensão é bombeada para lagoas de sedimentação onde o fosfogesso, depois de decantado, é retirado por escavadeiras tipo *dragline* e levado às pilhas de acumulação. As lagoas com diques de contenção são construídas com o próprio fosfogesso, sendo usadas alternadamente. As águas ácidas drenadas, *overflow* da sedimentação, são coletadas em canais e levadas para lagoas de processo que também recebem as águas pluviais e processam a evaporação solar, além de resfriar as águas de processo. Posteriormente, por conterem P_2O_5 residual, são retornadas ao processo de produção de ácido fosfórico. Caso haja água em excesso ela é enviada à estação de tratamento para posterior descarte. No Brasil são utilizadas as duas formas de disposição de fosfogesso pelos fabricantes de ácido fosfórico.

Usos do fosfogesso

Desde os primórdios da produção de ácido fosfórico, há mais de um século, a questão do reaproveitamento do fosfogesso tem sido uma preocupação tanto das empresas produtoras como das autoridades ambientais e das comunidades envolvidas. Várias técnicas, métodos e processos foram desenvolvidos, no entanto poucos foram implantados comercialmente, devido à baixa economicidade. O principal aspecto negativo do fosfogesso é a sua impureza, sobretudo devida à presença de fósforo, metais pesados, radio-

atividade e acidez residual. Quando seco, dada a sua granulometria abaixo de 200 micrômetros e morfologia acicular de seus cristais, possui características de baixa escoabilidade e, portanto de difícil manuseio. Os principais usos do fosfogesso são descritos a seguir.

CARGA DE MATERIAL PARA PREENCHIMENTO DE ESTRADAS E CAVAS

As características físicas do fosfogesso *in natura* permitem a utilização em preenchimento de cavas e na construção de estradas desde que convenientemente misturado com outros materiais para que apresente resistência à deformação. Algumas estradas foram construídas no Texas e na Flórida e os resultados indicaram que o fosfogesso era um bom material para subcamadas de pavimentação, sem sinais de degradação. A maior resistência à utilização do fosfogesso na construção de estradas próximas a centros urbanos é seu teor de radionuclídeos (Chang; Mantell, 1990).

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

O uso do fosfogesso como substituto do gesso natural gipsita vem sendo proposto há muito tempo, sem conseguir uma ampliação significativa. Por questões ambientais, sobretudo com relação à radioatividade dos núcleos presentes, seu uso em locais urbanos e habitados tem sido questionado. Durante muitos anos foi utilizado nos EUA, Europa e Japão.

Produção de argamassa e cimento

A utilização do fosfogesso para a produção de argamassa e cimento exige um pré-tratamento que em geral encarece o produto final. O fosfogesso gerado pelo processo hemihidrato é menos impuro e só necessita de lavagem e neutralização. A presença de flúor e fosfatos altera as propriedades finais da argamassa, sobretudo após longos períodos da produção e exposição atmosférica (Slack, 1968).

Produção de tijolos e blocos

A produção de tijolos com agregação de fosfogesso também necessita de eliminação parcial das impurezas embora de forma menos rígida. Os materiais obtidos são de boa qualidade e o desgaste maior após exposição às condições atmosféricas ocorre na parte externa, pouco influenciando as propriedades físicas e estruturais. Isso também é válido para blocos de cimento, sendo, no entanto necessária também uma neutralização e lavagem para que apresentem durabilidade. As questões de radioatividade do fosfogesso são também um empecilho à sua utilização em larga escala (Chang e Mantell, 1990).

Produção de placas

Placas de gesso são utilizadas como paredes, divisórias e forros. Para tanto, o fosfogesso mais indicado é o proveniente do processo hemihidrato não dispensando também neutralização e lavagem. O fosfogesso do processo dihidrato exige tratamento mais rígido, visando eliminar flúor e fosfatos. Além disso, essa utilização exige que o produto final apresente coloração branca sendo isso difícil de obter com o fosfogesso. Apesar das boas propriedades físicas e estruturais seu uso também é limitado pela radioatividade (Rajković; Tašcović, 2002). Mazzili & Saueia (1997) e Saueia (1998) mediram radionuclídeos (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K e ^{210}Po) no fosfogesso e nas rochas fosfáticas e concluíram que há migração majoritária desses compostos para o fosfogesso, havendo boa correlação entre o conteúdo individual de radionuclídeos na rocha fosfática e no fosfogesso.

Conclusão

A conclusão quanto à utilização de fosfogesso em materiais de construção é que não deve ser imediata, requerendo estudos mais detalhados. De modo conservador, sugerem que o fosfogesso pode ser utilizado desde que misturado a gesso natural em proporções adequadas.

Na Flórida, na década de 1960 foram construídos conjuntos habitacionais a partir de fosfogesso, mas que foram mais tarde demolidos por apresentarem presença elevada de radônio radioativo. Essa foi uma das causas da proibição do uso do fosfogesso nos EUA, feito pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) em 1992 (FPIR, 2010).

PRODUÇÃO DE VIDROS E CERÂMICAS VITRIFICADAS

Diversos testes para utilização de fosfogesso em produtos vitrificados e vidros foram realizados com relativo sucesso nos EUA por Chapman et al. (1999). Telhas, ladrilhos vitrificados e wollastonita de uso geral, foram obtidos com excelentes características físicas, químicas e estruturais, além de segundo os autores, apresentar dosagem radioativa de cerca de 20% do limite tolerável.

USO AGRÍCOLA

A utilização mais difundida do fosfogesso é sem dúvida na agricultura, como fonte de nutrientes secundários de cálcio e enxofre e como condicionador de solo, pela sua ação nas raízes das plantas. A baixa solubilidade faz com que sua penetração no solo se dê de forma lenta e contínua podendo, por lixiviação, difundir-se até profundidades consideráveis. As impurezas presentes apresentam influências variadas. Fósforo e micronutrientes presentes em baixos teores como ferro, zinco, magnésio, manganês, cobalto, níquel apresentam aspectos positivos. Alumínio deletério às plantas pode ser complexado com íons sulfato, diminuindo esse efeito (Rocha, 1985). Por sua vez, flúor, acidez residual, e metais pesados como cromo, mercúrio e cádmio são prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, e podem ser incorporados na estrutura das plantas, caules, ramos, folhas e frutos. Além disso, radionuclídeos podem ter efeitos maléficos em organismos superiores.

Diversos estudos sobre a utilização do fosfogesso na agricultura foram conduzidos na EMBRAPA e na ESALQ-USP. A maioria deles chega a conclusões positivas sobre o uso, recomendando sua utilização. Há também relatos de pouco ou nenhum efeito quando de sua utilização, sobretudo em solos salinizados (Santos et al. 2002). Dois Seminários importantes ocorreram em 1985 e 1992, patrocinados pelo Instituto Brasileiro do Fosfato (IBRAFOS) e que deram relevância a essa utilização no Brasil (IBRAFOS, 1985; 1992).

Embora essa aplicação esteja bastante difundida no Brasil, a presença de radionuclídeos no fosfogesso, com maior ou menor concentração, dependendo da rocha fosfática utilizada como matéria-prima na fabricação do ácido fosfórico, torna necessário avaliar o impacto radiológico na população consumidora dos produtos agrícolas, cultivados em solos condicionados por fosfogesso (Santos, 2001).

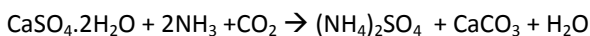
PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO QUÍMICA

Todo o enxofre utilizado na solubilização da rocha fosfática pelo uso do ácido sulfúrico termina como depósito ou disposto de alguma outra forma na qual esse enxofre não é recuperado. No caso do Brasil, onde mais de 80% do enxofre é importado, esse problema torna-se particularmente importante. Diversas alternativas de recuperação ou valoração desse enxofre foram desenvolvidas e algumas são utilizadas.

Processo Merseburg

Um dos primeiros processos desenvolvidos para a produção de sulfato de amônio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$, fertilizante nitrogenado, foi o Processo Merseburg que utilizava gesso natural e carbonato de amônio. Com a produção em larga escala de amônia $[\text{NH}_3]$ pelo processo de Haber-Bosch, essa rota de produção de fertilizante nitrogenado teve grande impulso na Alemanha. Posteriormente esse processo foi usado para processar o fosfogesso no lugar do gesso natural. Ainda hoje esse processo é utilizado em locais onde o preço da amônia é baixo e onde haja disponibilidade de gás carbônico $[\text{CO}_2]$.

Esse processo baseia-se na seguinte reação:



Utilizando o gesso natural mais puro, pode-se obter um carbonato de cálcio de boas propriedades, conhecido no mercado como carbonato de cálcio precipitado, com uso na indústria de celulose e papel e como carga de produtos especiais. Se o fosfogesso for usado sem pré-tratamento para remoção de impurezas, o carbonato de cálcio será obtido na forma de lama e bastante impuro, e poderá ser destinado à correção de acidez de águas residuais (Santos, 2001).

Para sua viabilidade é necessária a disponibilidade de amônia e gás carbônico a preços viáveis. Pode ser uma boa opção para abater gás carbônico de gases de combustão, diminuindo sua emissão para a atmosfera.

Do ponto de vista tecnológico, há certa complexidade no processo devido à reação se dar em fase de dispersão de gases (bolhas de NH_3 e CO_2) em suspensão de fosfogesso, seguida de filtração do CaCO_3 e de evaporação da solução e cristalização do $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

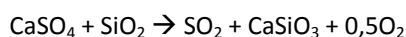
O destino dos radionuclídeos presentes no fosfogesso é o CaCO_3 ou a lama de carbonato de cálcio, restando muito pouco no produto sulfato de amônio (Burnett et al. 1995). O problema é então transferido para a disposição ou uso do carbonato de cálcio.

Produção de ácido sulfúrico

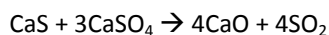
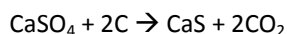
Durante muitos anos estudou-se a rota de extração do enxofre contido no fosfogesso como a forma ideal de sua recuperação. Desde o início do século passado estudou-se a rota em várias escalas de produção, não se obtendo, no entanto a economicidade necessária. Essa recuperação pode ser feita via produção de dióxido de enxofre $[\text{SO}_2]$ ou via produção de enxofre elementar $[\text{S}]$ (Pereira et al., 1992).

A produção de SO_2 pode ser feita das seguintes formas:

- processo OSW-Krupp no qual o fosfogesso seco e desidratado é misturado com carvão, areia e argila, sendo essa mistura levada a um forno rotativo que reduz o CaSO_4 a CaO , que reage a mais de 1200°C com areia e argila formando *clinker* de cimento e SO_2 que é levado à unidade de produção de H_2SO_4 . A principal reação do processo é a seguinte:



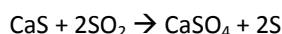
- processo em leito fluidizado onde o fosfogesso seco e desidratado reage com gases redutores, originados pela combustão incompleta de carvão, sendo em seguida misturados com gases oxidantes para evitar a formação de sulfeto de cálcio $[\text{CaS}]$. Os gases efluentes possuem cerca de 15% de SO_2 . Os sólidos formados, principalmente CaO , são retirados pelo fundo do reator. As reações ocorrem a 1200°C . As principais reações são as seguintes:



- processo Davy McKee no qual fosfogesso é inicialmente pelotizado com carvão e aditivos sendo as pelotas levadas a grelhas de calcinação onde ocorre a secagem, a queima e o resfriamento. Os gases de exaustão possuem SO_2 e os sólidos retirados pelo fundo das grelhas o CaO .

A produção de enxofre elementar pode ser realizada por três processos semelhantes:

- processo Natron no qual o fosfogesso é calcinado com carvão e o produto obtido CaS é hidrolisado para produzir $\text{Ca}(\text{HS})_2$ por carbonatação, sendo então produzido o gás sulfídrico $[\text{H}_2\text{S}]$ que pode ser levado a uma unidade do tipo Claus-Chance para a produção de enxofre. O sólido produzido é o CaCO_3 .
- processo CETEM no qual o fosfogesso é calcinado com carvão e o produto obtido CaS é hidrolisado para produzir $\text{Ca}(\text{HS})_2$, sendo levado a uma coluna de troca iônica para posterior produção do gás sulfídrico $[\text{H}_2\text{S}]$, que pode ser levado a uma unidade do tipo Claus-Chance para a produção de enxofre. Efluente do processo é o CaCl_2 .
- produz-se primeiramente SO_2 e posteriormente efetua-se a reação deste com monóxido de carbono $[\text{CO}]$ e carvão $[\text{C}]$, produzindo diretamente o enxofre. Além das reações anteriores ocorre também:



A recuperação de enxofre por ação bacteriana vem sendo estudada há mais de trinta anos sem obter resultados economicamente viáveis sendo, no entanto, uma rota limpa e de interesse ambiental. O processo conta com dois bioreatores. No primeiro o fosfogesso é levado a H_2S por bactérias redutoras de sulfato. O H_2S é levado a um segundo reator onde é oxidado a enxofre elementar. Carbono orgânico deve ser misturado nos bioreatores a fim de promover a ativação dos microrganismos (Cork; Cusanovich, 1979).

Esses processos de recuperação de enxofre, seja na forma de SO_2 quanto na forma elementar, não apresentam economicidade, pois o consumo energético é bastante elevado (Pereira et al., 1992). Apesar disso, novos estudos poderiam ser realizados com o intuito de verificar se atualmente são também inviáveis.

Nesses processos, os radionuclídeos permanecem majoritariamente nos efluentes sólidos de cálcio $[\text{CaO}]$, CaCO_3 e CaCl_2 , persistindo o problema ambiental da radioatividade contida.

Impactos ambientais do fosfogesso

A rocha fosfática contém uma enorme variedade de elementos químicos. Durante a reação de solubilização da rocha, esses elementos se distribuem entre a fase líquida, majoritariamente ácido fosfórico, e a fase sólida, majoritariamente sulfato de cálcio, o fosfogesso. Na fabricação do ácido fosfórico todos os compostos insolúveis no meio reacional, provenientes da rocha fosfática são incorporados no fosfogesso: metais pesados, fluoretos, sulfatos, radionuclídeos, entre outros. Apesar da lavagem da torta de filtração, o fosfogesso carrega também ácido fosfórico residual. Valores médios desse conteúdo de impurezas no fosfogesso (além do sulfato de cálcio):

Tabela 4 – Impurezas e metais pesados presentes no fosfogesso.

Impurezas:	1% P_2O_5	0,5% Fe_2O_3	0,1%Al
	1% SiO_2	0,3% TiO_2	0,5%F
Metais pesados:	5 ppm Cd	30 ppm Pb	0,1 ppm Hg

Dependendo da disposição ou do uso do fosfogesso, diferentes impactos ambientais podem ocorrer.

DISPOSIÇÃO EM CORPOS D'ÁGUA

Para a descarga em corpos d'água marítimos, como dito anteriormente, os impactos efetivamente medidos e de longo prazo ainda não existem. Por ser realizada uma alta diluição na descarga e esta em geral realizada em regiões pouco habitadas, os impactos (efeitos na fauna e no ambiente marinho próximo) são pouco aparentes ou notados. Embora o fosfogesso seja pouco solúvel, dada a grande diluição, há uma significativa redução na influência dos metais pesados, fluoretos e das águas ácidas da lama. O mesmo não ocorre em rios, pois além da quantidade de água não ser suficiente para uma grande diluição, a sua solubilidade é inferior à água do mar - efeito hidrotrópico (Freitas, 1992).

DISPOSIÇÃO NO SOLO

Os dados de impactos ao meio ambiente causados pelo fosfogesso disposto no solo são mais conhecidos e de natureza diversa: poeira, águas ácidas das lagoas de decantação, infiltração no solo, e presença de impurezas. A composição do fosfogesso é dominada pelo sulfato de cálcio e impurezas que incluem Al, P, F, Si, Fe, Mg, Mn, além de elementos traços (Ba, Cr, Se, Co, As, Zr, Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Cd, V, Sr, Hg), terras raras (Y, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Yb, Lu) e certos radionuclídeos naturais (U e Th) presentes nas rochas fosfáticas utilizadas na produção de ácido fosfórico.

Além disso, para unidades de produção de ácido fosfórico próximas a regiões urbanas, o impacto visual também é importante.

Poeira

Ventos predominantes podem arrastar material particulado fino do fosfogesso (<10 microns) levando-o para regiões habitadas, o que pode causar desconforto e reclamações aos órgãos ambientais, além de carregar material radioativo com ele. Em pilhas inativas esse problema é diminuído pela formação de vegetação rasteira e musgo que se desenvolvem pela presença de fósforo, que ajuda a consolidação da superfície da pilha. Em pilhas ativas, o fosfogesso fresco é depositado úmido e tende a ficar retido na superfície da pilha, formando uma crosta relativamente estável. Após a sua secagem natural caso haja uma perturbação mecânica causada por caminhões ou tratores, ela pode ser quebrada e o fosfogesso arrastado, gerando o problema dos particulados. Isso também pode ocorrer com o fosfogesso derramado por tratores, caminhões e correias transportadoras.

Águas ácidas

As águas ácidas acompanham o fosfogesso após sua filtragem e lavagem. Após a transferência e disposição do fosfogesso nas pilhas, as águas das lagoas de decantação são ácidas (pH<2) e contém diversos contaminantes, tais como fluoretos (~1 % F) e fosfatos (~1 % P_2O_5). Parte dessas águas transborda e é reciclada ao processo de produção de ácido fosfórico como água de processo, reciclando também as impurezas, aumentando assim seus teores nos circuitos internos. Águas pluviais também são incorporadas gerando excedente que é enviado à estação de tratamento de água para posterior descarte a corpos d'água receptores. Outra parte das águas ácidas percola o leito de fosfogesso na pilha, lixiviando os solúveis e penetra no solo, podendo atingir e contaminar os lençóis freáticos. Segundo Tayibi et al. (2009) metais pesados são lixiviados com relativa facilidade, mais de 50% se livremente expostos, ou seja não co-cristalizados ou inclusos nos cristais de sulfato de cálcio.

Para unidades de produção próximas a regiões urbanas onde haja captação de água em poços, pode haver a necessidade de impermeabilizar o solo e o fundo da pilha, evitando assim a contaminação. Nesse caso as águas do fundo da pilha, que deve possuir colchão de areia, devem ser drenadas e retornadas ao processo. A impermeabilização pode ser feita com concreto, argila ou plástico. Dada a importância dessa infiltração, o solo próximo à pilha deve ser monitorado para prevenir o problema da contaminação do lençol freático (Rutherford, 1994).

Fluoretos

Do flúor contido na rocha fosfática, da ordem de 2 a 3% associado ao mineral fluorapatita [$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$], 30 a 50% são transferidos para o fosfogesso, durante a solubilização da rocha fosfática. Esses teores diminuem na medida em que a remoção de flúor se dá de forma eficiente na unidade de produção de ácido fosfórico, com sistemas de lavagem de gases, gerando o subproduto ácido fluossilícico [H_2SiF_6] utilizado na fluoretação de águas potáveis. O flúor pode permanecer na forma de fluorita [CaF_2], ácido fluorídrico [HF] ou ácido fluossilícico [H_2SiF_6], associando-se a anions livres. É possível então, dependendo das condições atmosféricas, que o flúor seja liberado nas lagoas de decantação na forma mais volátil de HF e SiF_4 (Santos, 2001), caso não seja recuperado na lavagem de gases.

Segundo Freitas (1992), as emissões atmosféricas de flúor medidas em algumas pilhas de fosfogesso nos EUA e no Canadá resultaram em valores de 10 a 20 kg /ha.dia. Esse valor é indicativo e dependerá da origem da rocha fosfática. Rochas de origem sedimentar possuem teores de flúor mais elevados que as de origem ígnea, como é o caso da maioria das rochas brasileiras. Não há dados publicados sobre essas emissões em pilhas de fosfogesso, oriundos de unidades de produção de ácido fosfórico no Brasil.

O flúor também se movimenta no interior da pilha, podendo passar para o lençol freático. Embora não seja um elemento tóxico, seu acúmulo em água pode ultrapassar valores limites estabelecidos pela legislação. Os teores de flúor aumentam nas frações mais finas das partículas de fosfogesso.

Metais pesados

Metais pesados, que também são chamados de elementos traço, aparecem no fosfogesso de forma variada. Em geral os teores são muito baixos, da ordem de ppm, entretanto alguns metais mesmo em quantidades pequenas podem apresentar toxicidade elevada. Esses metais podem se acumular no solo que recebeu o fosfogesso ou seu lixiviado. A influência desses metais no ambiente radicular das plantas é bastante estudada, no entanto estudos de longo prazo são escassos. Apesar da definição de metal pesado abarcar uma gama enorme de metais, a preocupação maior é com a presença de Cd, Hg, Pb, Cr, As, elementos banidos em diversos países de produtos industrializados e comercializados. Esses metais aparecem em maiores teores nas frações finas do fosfogesso (Arocena et al., 1995). Podem também, movimentar-se através da pilha por difusão e permear no solo ou infiltrar nos lençóis freáticos. O monitoramento contínuo desses elementos é muito importante, para avaliar o acúmulo e a presença em águas de poços, embora praticamente não seja realizado.

Radioatividade

A radioatividade presente no fosfogesso tem sido uma preocupação constante da sociedade e dos produtores de ácido fosfórico. Há uma polarização entre os defensores de seu uso e os que entendem que seu uso deva ser banido. Embora a presença de radionuclídeos em rochas fosfáticas seja conhecida desde o início de sua utilização em larga escala, essa preocupação apareceu de forma mais incisiva na década de 1970, quando de sua utilização em placas de gesso para a construção de casas populares na Flórida. Sendo a radiação medida elevada, o uso do fosfogesso para esse e outros fins passou a ser questionado, sendo seu uso proibido pela *United States Environmental Protection Agency* em 1992 (FIPR, 2010), que também o classifica como "*Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material - TENORM*" (USEPA, 2002). Apesar da pressão feita pelos produtores de ácido fosfórico, empresas de grande porte e multinacionais, essa lei continua vigente, embora seja possível utilizar fosfogesso que apresente baixa radiação, medida como ^{226}Ra (<370 Bq/kg = 10 pCi/g.) só para fins agrícolas e com pedido submetido à autoridade estadual competente (FL-DEP, 2010). A emissão à atmosfera por exalação de gás Radônio ^{222}Rn , a partir da superfície de material suporte de ^{226}Ra , é limitada pela USEPA (2002) em valores de 0,74 Bq/(m²/s).

As rochas fosfáticas contêm teores consideráveis de urânio (U) e tório (Th), sendo que os vários isótopos das séries naturais do ^{238}U e ^{232}Th se encontram em equilíbrio radioativo. Urânio prevalece em fosfatos de

origem sedimentar e tório em fosfatos naturais de origem ígnea, como é a maioria dos fosfatos brasileiros. Quando da solubilização da rocha fosfática com ácido sulfúrico esse equilíbrio é quebrado havendo uma redistribuição dos radionuclídeos, e cada um passa a se comportar de acordo com suas propriedades químicas e sua meia vida específica (Mazzilli; Saueia, 1997).

A série de decaimento do ^{238}U passa por diversos isótopos que possuem diferentes tempos de meia vida. O mesmo ocorre com o ^{232}Th , sendo que para essas séries, o ^{226}Ra e o ^{228}Ra aparecem como os elementos mais comuns nos fosfatos e no fosfogesso.

Esses radionuclídeos permanecem na pilha e podem ser lixiviados e distribuírem-se por difusão através da pilha, atingindo o solo ou as camadas onde estão os lençóis freáticos. Os isótopos do Ra decaem para radônio, mais especificamente para ^{222}Rn , elemento gasoso que pode ser dispersado na atmosfera, podendo afetar seres vivos que o inalam ou recebem.

Se o fosfogesso for utilizado como complemento de adubação ou condicionador de solo, os radionuclídeos podem permanecer nesse solo exalando continuamente o ^{222}Rn , por diversos anos.

Mazzilli et al. (2000) mediram a atividade dos elementos ^{226}Ra (22-695 Bq/kg), ^{210}Pb (47-894 Bq/kg), ^{210}Po (53-677 Bq/kg) e ^{232}Th (7-175 Bq/kg) em fosfogessos brasileiros. Os resultados são bastante dispersos e dependem da origem das rochas fosfáticas, mas são críticos em relação ao limite imposto pela USEPA de 370 Bq/kg.

Santos (2002) realizou medições para avaliar as vias de exposição consideradas mais importantes: contaminação das águas subterrâneas, emanção do ^{222}Rn e a irradiação proveniente da pilha para fosfogessos gerados no Brasil. Dentre as vias de transferência estudadas, a mais crítica foi a ingestão de água para a qual o limite foi excedido para os radionuclídeos ^{228}Ra e ^{210}Pb , estando abaixo do recomendado para o radionuclídeo ^{226}Ra .

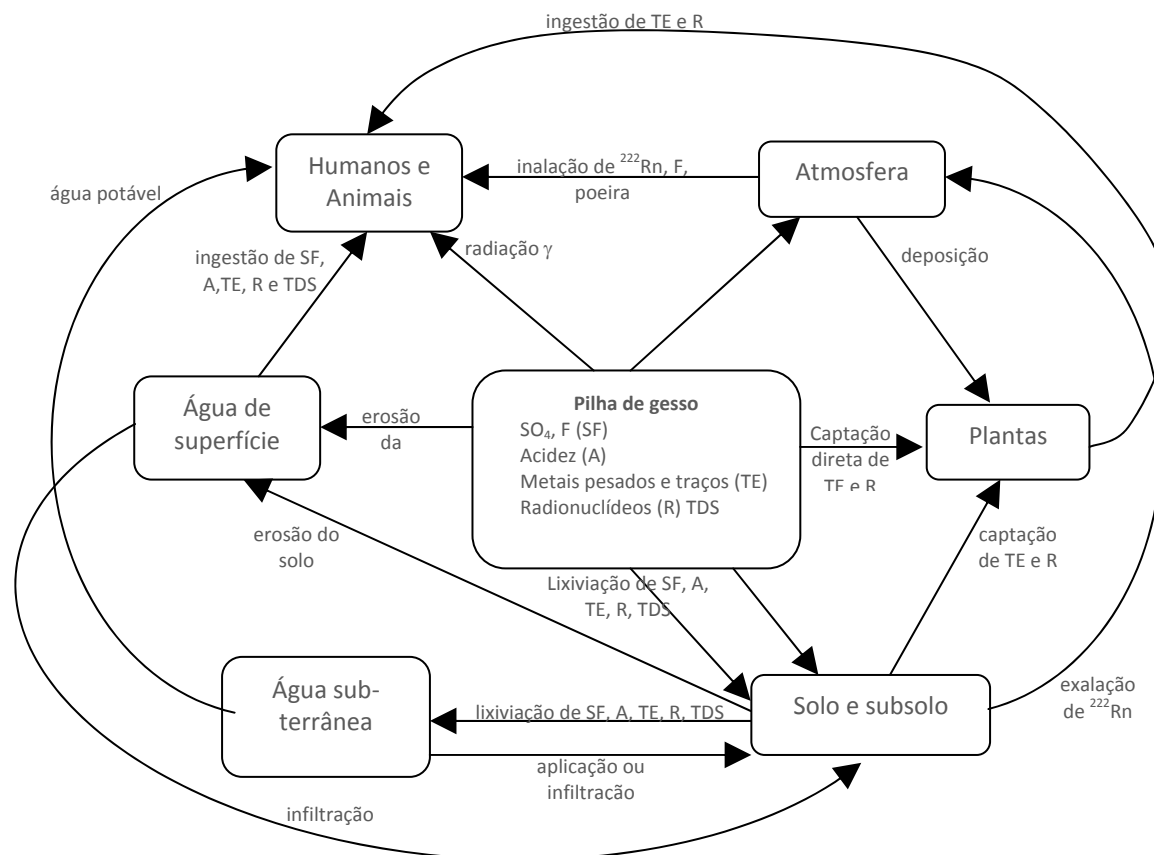
Rutherford *et al.* (1994) propuseram o diagrama da Figura 5 que resume os principais impactos ambientais resultantes da disposição e uso do fosfogesso.

Vale lembrar que os limites radiológicos de utilização de Materiais Radioativos de Ocorrência Natural (*Naturally Occurring Radioactive Material* - NORM) são estabelecidos por regulamentação específica pelas agências reguladoras nacionais, que independem de normas e padrões estabelecidos por órgãos internacionais de radioproteção.

No Brasil, não existe regulamentação específica relativa a atividades que envolvam fontes naturais de radiação, manuseio de urânio e tório contido em subproduto ou resíduo sólido, incluindo fiscalização de instalações (Mazzilli; Saueia, 1997). A norma experimental CNEN-NE-6.02 de julho de 1998 da Comissão Nacional de Energia Nuclear estabelece limites para isenção de licenciamento (CNEN, 2010). Dessa forma, o fosfogesso gerado nas unidades de produção de ácido fosfórico no Brasil, é utilizado para diversos fins: aterros sanitários, revestimento e para fins agrícolas. Cerca de 30% do fosfogesso produzido na unidade de Uberaba está sendo retirado para utilização final e em Cubatão em média expede-se a mesma quantidade que se produz (Costa, 2010).

Até o momento, não houve um estudo de longo prazo de monitoramento contínuo das vias de exposição e transferência de radionuclídeos nas pilhas de fosfogesso do Brasil.

As empresas e a comunidade científica da área nuclear consideram que a questão dos riscos devidos a Materiais Radioativos de Ocorrência Natural (NORM), e particularmente às rochas fosfáticas, não são suficientemente importantes para empreender qualquer esforço para resolvê-los (Mrabete e Kotti, 2008).



Fonte: Rutherford *et al.*, 1994

Figura 5 - Principais efeitos ambientais resultantes da disposição e uso do fosfogesso.

Sugestões de pesquisas e investimentos

A questão básica que se coloca para o fosfogesso é o de gerar ou não esse resíduo. O início de sua geração se deu em função da necessidade de se reduzir os custos de produção e transporte de fertilizantes. Fertilizantes mais concentrados podiam ser levados a regiões mais remotas a custos de transporte menores. A produção de fosfatos no Brasil iniciou na década de 50 com o superfosfato simples - SSP, que possui teores de 18% de P₂O₅ solúvel, resultado do ataque da rocha fosfática com ácido sulfúrico levando à formação do fosfato monocálcico e de sulfato de cálcio - gesso, em um só produto, sem necessidade de separação. Com a necessidade de produtos mais concentrados em P₂O₅, surgiram as unidades de ácido fosfórico e a geração do resíduo fosfogesso. Portanto, produzindo ácido fosfórico gera-se fosfogesso.

A necessidade de ácido fosfórico tem aumentado e as importações chegaram a valores de impacto nos itens de importações de insumos agrícolas. Portanto, é de se prever a construção de novas unidades de produção de ácido fosfórico, aproveitando as rochas de Patrocínio (MG), Anitápolis (SC), Itataia (CE), esta também produtora de concentrado de urânio (Ribeiro *et al.*, 2008).

Torna-se, portanto primordial o estudo dos impactos ambientais nas unidades produtoras, sobretudo monitoramento de contaminação da atmosfera e de águas urbanas, por contaminantes presentes no fosfogesso: fluoretos, acidez, metais pesados e radionuclídeos. Unidades integradas podem ser interessantes do ponto de vista econômico, energético e ambiental.

No projeto da fábrica de ácido fosfórico, integrar o aproveitamento do fosfogesso visando sua valorização e a eliminação de um problema ambiental. Um exemplo disso é a integração de unidades de produção de ácido fosfórico associada à unidade de produção de cimento que utiliza o fosfogesso como matéria-prima. Outro exemplo é a geração de fosfogesso mais limpo dentro do processo de produção do ácido fosfórico, eliminando o problema da disposição de fosfogesso contaminado com muitas impurezas.

Novos investimentos na área devem levar em conta não só os aspectos econômicos e ambientais, como também as implicações de longo prazo.

São fundamentais os investimentos em pesquisa e desenvolvimento realizados, sobretudo com a criação de linhas de fomento, prioritariamente nas áreas da Engenharia Química, de Minas e Nuclear. Projetos que podem ser apoiados:

- monitoramento na geração e no armazenamento do fosfogesso produzido no Brasil quanto às suas características físicas, químicas e radiológicas.
- estudo de efeitos de longo prazo.
- estudo do impacto do uso e armazenamento do fosfogesso nas áreas agrícolas que o utilizam, nas águas efluentes e no ambiente próximo às unidades produtoras e usuárias.
- avaliação da utilização do fosfogesso como fonte adicional de enxofre, essencial nos solos de cerrado para se obter uma boa produtividade. Isto já está sendo aplicado na atualidade, juntamente com a adição de silício, sobretudo nas regiões próximas às unidades de ácido fosfórico, no Brasil Central.
- acompanhamento da movimentação de metais pesados de radionuclídeos.
- melhoria do desempenho das unidades de produção existentes de ácido fosfórico quanto à segregação de contaminantes.
- avaliação de viabilidade técnico-econômico-ambiental de implantação de processos integrados de produção de fertilizantes fosfatados e de aproveitamento de fosfogesso, com minimização de rejeitos gerados.
- desenvolvimento de novos processos de aproveitamento de fosfogesso.

Referências bibliográficas

- ANDA. Associação Nacional para a Difusão de Adubos. Plano Nacional de Fertilizantes. São Paulo, 1987. Disponível em: <<http://www.anda.org.br>>. Acesso em 10 fev de 2010.
- Arocena, J.M.; Rutherford, P.M.; Dudas, M.J. Heterogeneous distribution of trace elements and fluorine in phosphogypsum by-product. *The Science of the Total Environment*, v.162, p. 149-160, 1995.
- Burnett, W.C.; Schultz, M.; Hull, C. Behavior of radionuclides during ammonocarbonation of phosphogypsum. Florida Institute of Phosphate Research, FIPR, Publication n° 05-040-111, 1995.
- Chang, W.F.; Mantell, M.I. Engineering properties and construction applications of phosphogypsum. Florida Institute of Phosphate Research, FIPR, Publication N° 01-068-070, 1990.
- Chapman, C.; Peters, R.; Wojak, B. Development of process to manufacture glass products from phosphogypsum. Florida Institute of Phosphate Research – FIPR, Publication 01-153-163, 1999.
- CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. Licenciamento de Instalações Radiativas. CNEN-NE-6.02, Portaria CNEN 059/98. <http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas>, acesso em 20/05/2010.
- Corbridge, D.E.C. *The Structural Chemistry of Phosphorous*. Elsevier, Amsterdam: The Netherlands, 1985.

- Cork, D.J.; Cusanovich, M.A. Continuous disposal of sulfate by a bacterial mutualism. *Dev. Ind. Microbiol.*, 20: 591-602, 1979.
- Costa, H.J.B. Comunicação pessoal, 2010.
- Dean, J.A. *Lange's Handbook of Chemistry*. 13th Ed. McGraw-Hill, Singapore, 1987.
- Deer, W.E.; Howie, R.A.; Zussman, J. *Minerais Constituintes das Rochas – Uma Introdução*. Fundação Caluste Gulbenkian, Lisboa: Portugal, 1966.
- FL-DEP, Flórida Department of Environmental Protection. Disponível em: <www.dep.state.fl.us/air/emission/writertools/neshap/r.doc>. Acesso em 19 jun 2010
- FIPR, Florida Institute of Phosphate Research. Disponível em: <<http://www.fipr.state.fl.us/>>. Acesso em 03 abr 2010.
- Freitas, B. J. A Disposição do fosfogesso e seus impactos ambientais. Anais do II Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura. IBRAFOS. Uberaba, 1992.
- IBRAFOS, Instituto Brasileiro do Fosfato, I Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura. Brasília, 1985.
- IBRAFOS, Instituto Brasileiro do Fosfato, II Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura. Uberaba, 1992.
- IFA. International Fertilizer Industry Association. *Fertilizers and Raw Materials Supply and Supply/Demand Balances*. Paris: França, 1999. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org>>. Acesso em 12 fev 2010.
- Mazzilli, B.; Saueia, C.H.R. Implicações radiológicas da utilização de fosfogesso como material de construção. *Ambiente Construído*, v.1, n.2, p. 17-22, 1997.
- Mazzilli, B.; Palmiro V.; Saueia, C.; Nisti, M.B. Radiochemical characterization of Brazilian phosphogypsum. *Journal of Environmental Radioactivity*, v.49, p.113-122, 2000.
- Mrabet, T.; Kotti, M.M. Radioactivity in the phosphate field: actions undertaken by IMPHOS - Institut Mondial du Phosphate. *Proceedings of International Symposium on Naturally Occurring Radioactive Material (NORM V)*. Seville, Spain, 19–22 March 2007. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2008.
- Pereira, S.C.C.; Calmanovici, C.E.; Cekinski, E.; Fabiani, M.A.; Ré, M.I.; Silveira, P.B.M.; Guardani, R.; Bonomi, A.M.J.L.F.; Urenha, L.C. Avaliação técnico-econômica das possibilidades de aproveitamento de fosfogesso. Anais do II Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura. IBRAFOS. Uberaba, 1992.
- Potash Corp. 2009 Sustainability Report. Disponível em: <<http://www.potashcorp.com>>. Acesso em 12mar de 2010.
- Rajković, M.B.; Tašcović, D.V. Investigation of the possibilities of phosphogypsum application for building partitioning walls - Elements of a prefabricated house. *APTEF*, V.33, p. 71-92, 2002.
- Ribeiro, V.A.L.; Afonso, J.C.; Wildhagen, G.R.S.; Cunha, J.W.S.D. Extração líquido-líquido de urânio(VI) do colofanito de Itataia (Santa Quitéria, Ceará) por extratantes orgânicos em presença de ácido fosfórico. *Química Nova*, V.31, no. 8, São Paulo, 2008.
- Rocha, M. Difusão do uso agrícola do fosfogesso. In: I Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura. Anais. IBRAFOS, Brasília, 1985.
- Rutherford, P.M.; Dudas M.J.; Samek, R.A. Environmental impacts of phosphogypsum. *The Science of the Total Environment*, V. 149, p. 1-38, 1994.
- Santos, A.J.G. Avaliação do impacto radiológico ambiental do fosfogesso brasileiro e lixiviação de ²²⁶Ra e ²¹⁰Pb. Tese de Doutorado em Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2002.

- Santos, A.R. Análise termoeconômica do processo de transformação química do fosfogesso em torta carbonatada ou torta hidróxido. Dissertação Engenharia Mecânica Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 2001.
- Santos, R.V.; Vital, A.F.M.; Souto, J.S.; Sales, F.C.V.; Holanda, A.C.; Souto, P.C. Uso de gesso e fósforo em solo degradado cultivado com *Crotalaria*. SIRAD 2002 Belo Horizonte. 2002.
- Saueia, C.H.R. Caracterização radioquímica do fosfogesso e implicações radiológicas de sua utilização como material de construção. Dissertação de Mestrado, IPEN, São Paulo, 1998.
- Slack, A.V. Phosphoric Acid. Marcel Dekker, New York: USA, 1968.
- Tayibi, H.; Choura, M.; López, F.A.; Alguacil, F.J.; López-Delgado, A. Environmental impact and management of phosphogypsum. Journal of Environmental Management, V. 90, p. 2377-2386, 2009.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants, Subpart R, 2002. Disponível em: <<http://www.epa.gov/neshaps>>. Acesso em 23 abr de 2010.
- Wirsching, F. Gypsum. Ullmann's Encyklopädie der Technischen Chemie. Weinheim, Verlag Chemie, 1978.
- Wissa, A.E.Z. Phosphogypsum disposal and the environment. Disponível em: <http://www.fipr.state.fl.us/pondwatercd/phosphogypsum_disposal.htm>. Acesso em 13 fev de 2010.

A INDÚSTRIA BRASILEIRA DE FERTILIZANTES (CADEIA NPK, ENXOFRE, ROCHA FOSFÁTICA E POTÁSSIO) - PROJEÇÕES DE 2010 A 2030

EDUARDO OGASAWARA¹, YARA KULAIF², FRANCISCO REGO CHAVES FERNANDES³

Introdução

O presente capítulo apresenta a metodologia e resultados de um exercício de projeção de longo prazo (até 2030) das principais variáveis do mercado de fertilizantes minerais do Brasil. Este exercício fez parte de pesquisa para elaboração dos perfis do setor de fertilizantes do Plano Duo-Decenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - PDGMT 2010/2030, proposto e coordenado em 2009 pelo Ministério de Minas e Energia - MME.

Os estudos do PDGMT utilizaram como referência o documento "Elaboração do Plano Duo-Decenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - PDGMT 2010/2030" (MME, 2009), que forneceu o padrão conceitual geral. Segundo este, é objetivo do Plano apontar qualitativamente os principais obstáculos a serem superados para o pleno atendimento das necessidades de longo prazo e projetar quantitativamente as necessidades futuras para o período dos próximos 20 anos.

O documento observa que, embora a análise do passado nos indique que o Brasil nos últimos 25 anos tenha tido uma taxa de crescimento econômico muito baixa, atualmente reúne condições para entrar em um patamar mais alto de crescimento, sustentável para esse horizonte de 20 anos.

Quanto à geração de riqueza e o comportamento do consumo brasileiro entre 2010 e 2030, define o texto a utilização de três hipóteses de cenários para o PIB (que são explanadas mais detalhadamente a seguir), sendo que a hipótese mais otimista, denominada inovadora, indica um cenário que alia estabilidade econômica, reformas e inovação, contemplando taxas de crescimento do PIB entre 5% e 8%.

Para as projeções de longo prazo, uma segunda variável importante utilizada foi o comportamento do crescimento demográfico. Segundo previsão do IBGE, o Brasil deverá alcançar o máximo populacional de aproximadamente 220 milhões de habitantes por volta de 2040, apenas 10 anos após o horizonte do PDGMT.

Metodologia para as projeções de consumo e produção de 2010-2030

Dentre as técnicas existentes para realizar predições, talvez a mais utilizada seja a regressão e suas variantes, como regressões múltiplas. Porém, mais recentemente, outras técnicas lineares, como autoregressão e vetores autoregressivos, vêm sendo usadas com mais frequência.

Estas novas técnicas visam a solucionar problemas. Por exemplo, embora a análise de regressão lide com a dependência de uma variável em relação a outras, que pode ser calculada estatisticamente, não necessariamente existe uma relação causa-efeito entre elas. Da mesma forma, como a especificação da modelagem de regressão é uma tarefa complexa, empírica, não é difícil se deparar com o problema do erro ou de introdução de viés na especificação do modelo, que comumente pode ter sua origem ou na omissão de uma ou mais variáveis relevantes, na inclusão de uma ou mais variáveis desnecessárias, ou ainda na adoção da forma funcional incorreta. A metodologia Box-Jenkins (Box *et al.* 2008), por meio do método ARIMA (Box *et al.* 2008), caracteriza-se por apresentar uma ênfase na análise de séries temporais da variável estimada (Y), permitindo que Yt seja explicada por valores passados, ou defasados, da própria Y e dos

¹ M.Sc. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ). E-mail: eogasawara@cefet-rj.br

² D.Sc. Universidade de São Paulo (USP). Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM/MME). E-mail: yara.kulaif@dnpm.gov.br

³ D.Sc. Universidade de São Paulo (USP). Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). E-mail: ffernandes@cetem.gov.br

termos de erro estocásticos. O modelo ARIMA é uma generalização do modelo autoregressivo de média móvel (ARMA) (Gujarati e Porter, 2008). Ele é representado pela notação ARIMA (p, d, q), na qual p é o número de termos autorregressivos, d é o número de diferenças e q é o número de termos da média móvel. No caso de $d = 0$, tem-se o modelo ARMA (p, q), e no caso em que tanto d quanto q sejam iguais a 0, tem-se o modelo AR(p). O modelo ARIMA (0, 1, 0) é o passeio aleatório *random walk* (Tsay, 2001).

Pode-se tomar como exemplo o consumo de fertilizantes. Neste caso, em vez de se tentar prever diretamente o consumo a partir de outras séries, pode-se prever via método ARIMA o consumo dividido pelo PIB. Esta divisão é um dos diferentes tipos de transformação de séries temporais que podem ser aplicados numa modelagem econométrica (Gujarati e Porter, 2008) e foi comumente utilizada em modelagens de previsão de fertilizantes e de outras substâncias minerais via intensidade de uso (Suslick, 1991, Suslick *et al.*, 1995).

Neste trabalho as previsões foram todas realizadas partindo-se da variável obtida pela divisão do consumo pelo PIB. Esta escolha se justifica pelo fato de já ter sido utilizada no passado e pela necessidade de se estabelecer três perspectivas de previsão vinculadas às diferentes previsões de PIB de 2010 a 2030.

Cenários de PIB adotados

Foram estabelecidos três cenários, quais sejam, um mais conservador, outro médio e um mais otimista, para possibilitar as várias projeções quantitativas do PDGMT. De maneira geral, em sua confecção, seguiram-se as diretrizes propostas no documento base para a elaboração do Plano Duo-Decenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - PDGMT 2010/2030, que estabeleceu:

- Para o Brasil é admitido um cenário mais provável de retomada do desenvolvimento, fundamentado no progressivo amadurecimento da democracia e do processo político, no aprofundamento da estabilização da economia, e na complementação das reformas institucionais.

Desta forma, foram os seguintes os valores propostos de crescimento anual do PIB, segundo os três cenários elaborados (Tabela 1):

Tabela 1 - Cenários para o PIB entre 2010 e 2030.

PIB - Produto Interno Bruto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
	FRÁGIL: Instabilidade e Retrocessos	VIGOROSO: Estabilidade e Reformas	INOVADOR: Estabilidade, Reformas e Inovação
Média no período 2010-2030 (% a.a.)	2,3	4,6	6,9
- Período 2010 a 2015 (% a.a.)	2,8	4,0	5,0
- Período 2015 a 2020 (% a.a.)	2,5	4,5	6,5
- Período 2020 a 2030 (% a.a.)	2,0	5,0	8,0

Fonte: Mendo (2009).

METODOLOGIA DO MODELO AUTO-REGRESSIVO DE PREVISÃO DE CONSUMO

O processo de obtenção de resultados através do método ARIMA para previsão de séries temporais foi dividido em três atividades básicas:

- análise e transformação das séries temporais.
- ajustamento do modelo Box-Jenkins e previsão preliminar.
- saturação da previsão.

Análise e transformação das séries temporais

As séries temporais podem ser divididas em séries estocásticas estacionárias e não estacionárias. A maioria das variáveis econômicas, dentre elas as de interesse para os fertilizantes, como o PIB, consumo e preço de determinado fertilizante, são consideradas não estacionárias. Para a finalidade de se fazer previsões, as séries não estacionárias têm pouco valor prático (Tsay, 2001). Mas a partir da identificação de uma série não estacionária, podem-se realizar modificações sobre as séries de modo a transformá-las em séries temporais estacionárias (Gujarati e Porter, 2008).

A primeira transformação empregada em todas as séries foi a aplicação do número índice sobre cada série temporal. O objetivo foi igualar as escalas das séries de modo a nivelar as forças dos regressores no modelo de previsão. O ano escolhido como base para o número índice para todas as séries estudadas foi o de 2008. Este processo foi realizado tanto para o consumo de cada fertilizante quanto para o PIB.

A série transformada (consumo/PIB) é não estacionária e possui tendência. Foi necessário retirar a tendência desta série de modo a se poder aplicar a modelagem Box-Jenkins. Para se remover a tendência, calculou-se a regressão linear simples sobre a série transformada e subtraiu-se da série original o valor da regressão. O resíduo da série transformada obtido após se retirar o valor da regressão linear é a série sem tendência. Esta diferença é comumente conhecida como inovação (Gujarati e Porter, 2008). A modelagem Box-Jenkins é feita com base na inovação.

Ajustamento do modelo Box-Jenkins e previsão preliminar

A partir da inovação pode-se calcular a autocorrelação da série. O objetivo da autocorrelação é obter os *lags*, ou seja, o índice dos autoregressores com módulo de autocorrelação (Matlab, 2009) superior a um determinado patamar (por exemplo, 0,2), para se aplicar o modelo Box-Jenkins. Uma vez tendo sido ajustado o modelo ARIMA, pode-se calcular a previsão da inovação para a série temporal e reaplicar a tendência ao modelo. Isto permite a geração da previsão do consumo por unidade do PIB.

Saturação da previsão

Para o cenário inovador, o PIB cresce fortemente (mais de quatro vezes). É de se esperar que a sua componente agrícola, determinando o consumo dos fertilizantes, não cresça nas mesmas proporções do PIB total. Isso já é observado atualmente e, desta forma, é necessário aplicar uma saturação da capacidade de propagação do crescimento do PIB ao consumo dos fertilizantes.

Pode-se adotar o consumo por habitante como *proxy* para a definição do modelo de saturação. Multiplicando-se o PIB saturado pelo valor da previsão saturada do consumo por habitante, tem-se a previsão do consumo efetivo para cada um dos cenários. O modelo de saturação apresentado é baseado na função sigmóide, no qual o consumo por habitante dos EUA foi utilizado como um limiar de saturação para o consumo por habitante do Brasil. A projeção da população do Brasil até o ano de 2030 foi obtida pelo IBGE (2009) e a projeção da população dos EUA até o ano de 2030 foi obtida no U.S. Census Bureau, Population Division (2008).

A função de saturação é sigmóide ajustada pelo método de Newton. Ao final do capítulo, é apresentado, em anexo, um exemplo do processo de cálculo.

CENÁRIO ECONÔMICO DOS FERTILIZANTES

Para situar o contexto da projeção, faz-se referência aqui ao desenvolvimento recente da indústria de fertilizantes.

A configuração do mercado produtor de fertilizantes no Brasil, até o final de 2009, caracterizava-se por:

- um forte oligopólio de três grandes grupos multinacionais (Bunge, Mosaic/Cargill e Yara), sendo que Mosaic e Yara são grandes conglomerados da indústria de fertilizantes internacional e Bunge e Cargill,

conglomerados produtores, processadores e comercializadores de commodities agrícolas no mercado internacional. Estes grupos estavam aliados no Brasil na *holding* Fertifós, que é detentora do controle acionário das grandes produtoras brasileiras de matérias-primas fosfatadas, a saber, Fosfertil, Ultrafertil e Goiasfertil⁴, centrados nos fertilizantes fosfatados a partir da rocha fosfática, mas verticalizados, dominando a cadeia final dos produtos fertilizantes, principalmente a venda aos agricultores.

- diminuição significativa do peso das empresas brasileiras de capital nacional no final da cadeia de NPK, localizadas, principalmente, no segmento independente das misturadoras (cerca de 80 empresas, sendo que a maior delas participa apenas com 2% do total produzido) em relação ao destes grupos multinacionais, que ampliaram assim o seu controle sobre a indústria e conseqüentemente dos preços finais no Brasil dos produtos fertilizantes aos agricultores. Em 2008, a participação conjunta das multinacionais foi de 65%.
- nos outros segmentos da indústria: fertilizantes nitrogenados e potássicos, existia uma situação de duopólio e monopólio, respectivamente, com a Petrobras e a Fosfertil dividindo o mercado do nitrogênio, e a Vale, antiga Companhia Vale do Rio Doce, atuando no potássio.

São mercados de concorrência imperfeita instalados no Brasil que, desde a criação de forte esquema de importações pelas empresas, têm, de forma continuada, controlado os preços e financeirizado o mercado dos produtos (com especulação e volatilização), drenando os rendimentos dos produtores agrícolas com os seus custos crescentes, e se apoderando de quantias avultadas em dólares do comércio exterior pelas importações que elas mesmas promovem. Acrescem ainda os seguintes ingredientes:

- a participação simultânea de dois destes grupos em boa parte das *trading companies* que comercializam internacionalmente os grãos
- a direta consequência desta situação na má qualidade da concorrência nas duas pontas da cadeia da agroindústria faz com que os custos de produção e a competitividade das principais *commodities* produzidas pelo Brasil sejam diretamente afetados;
- uma grande vulnerabilidade nacional, com todos os riscos concomitantes, tanto na segurança no abastecimento das matérias-primas, quanto na segurança alimentar, para um grande país agrícola e produtor de biocombustíveis (Albuquerque e Azambuja, 2008).

Segundo Kulaif (2009), em valores monetários, as necessárias importações para atender ao consumo brasileiro de rocha fosfática, potássio e enxofre já atingiram, em 2008, US\$ 5,1 bilhões, quando em 2007 era de US\$ 1,8 bilhão e em 2006 de US\$ 1,1 bilhão, cifras astronômicas e com acelerado crescimento ano a ano. Em 2008, importaram-se US\$ 3,8 bilhões em potássio, US\$ 0,3 bilhão em rocha fosfática e US\$ 1,0 bilhão em enxofre. Têm-se ainda outras importações, não incluídas neste cálculo, como a do nitrogênio sob a forma de amônia, sulfato de amônia e uréia, além da importação de produtos intermediários para fertilizantes, como os fosfatos de amônio (MAP e DAP). Não se espera elevação destes montantes, em valor, em 2009; ao contrário, a evolução do ciclo descendente de preços das *commodities* sugere baixa acentuada, mas os valores totais tendem a continuar elevados, uma vez que os problemas estruturais que originam esta situação perduram (BM, 2009).

Ficou claro durante 2009, tanto nas enfáticas declarações do Ministro da Agricultura de que não toleraria mais essa situação, quanto numa condenação da atual configuração do mercado pelos órgãos de comunicação, que seriam necessárias imediatas ações e políticas concretas de governo em conjunto com o empresariado nacional (Rodrigues, 2008). O dado novo em 2010, resultado concreto das pressões, foi a forte expansão da Vale no setor, comprando toda a participação dos grupos Bunge, Yara e Mosaic na Fosfertil, além das participações menores da Heringer e da Fertipar na empresa, com a Vale passando a deter 78,9% do capital da empresa (99,81% das ações ordinárias e 68,24% das preferenciais), conforme comunicado da Vale em seu sítio na internet (SMB, 2010). Paralelamente, a Vale também adquiriu outros ativos

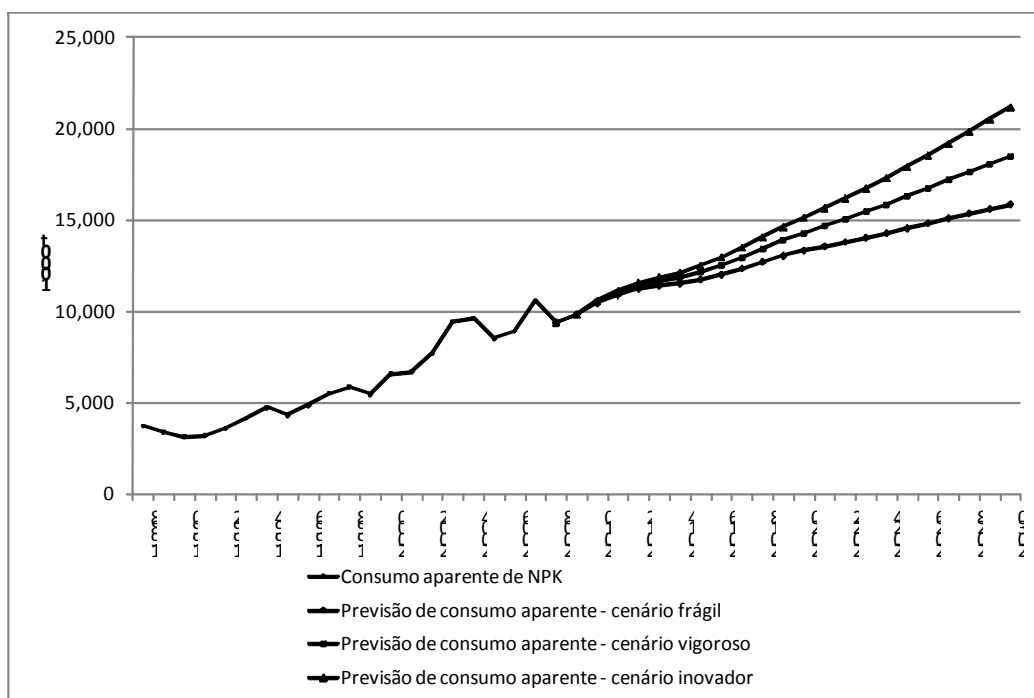
⁴ Ultrafertil e Goiasfertil foram incorporadas à Fosfertil pouco após a privatização.

de produção de matérias-primas e fertilizantes simples da Bunge e Mosaic no Brasil, tendo estas praticamente se retirado da produção de insumos dos fertilizantes NPK, embora continuem atuando com sua estrutura tentacular na rede de vendas de fertilizantes finais ao agricultor brasileiro.

Projeções para 2010-2030 do consumo e do consumo por habitante

As projeções entre 2010 e 2030 foram realizadas calculando-se o consumo efetivo (demanda agrícola) de fertilizantes, medido em toneladas de nutrientes (n) contidos nas “entregas aos agricultores”, conforme estatísticas divulgadas pela ANDA.

Como indicado anteriormente, a projeção do consumo até 2030 (tanto a total quanto a por habitante) considerou três macro-cenários de evolução da economia (Cenário 1: Frágil, com crescimento do PIB de 2,3% a.a.; Cenário 2: Vigoroso, com crescimento do PIB de 4,6% a.a. e Cenário 3: Inovador, com crescimento de 6,9% a.a.), além do padrão de consumo por habitante de nações já industrializadas (no caso, os EUA), como uma proxy do ponto de saturação do consumo por habitante brasileiro. Os resultados obtidos mostraram que o consumo chega a mais do que duplicar no Cenário 3, duplica no Cenário 2 e cresce 70% no Cenário 1.



Fonte: MINERALdata (2010); SMB (2010); MME/DNPM (2009).

Gráfico 1 - Consumo de fertilizantes (NPK), projeções 2010-2030.

Tabela 2 - Projeções do consumo de fertilizantes - 2010-2030 – em 1000 t de nutrientes.

Consumo em 2008 (1000 t de n)		9.387		
Cenários para o crescimento do PIB		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
% de crescimento médio anual		2,3 % a.a.	4,6% a.a.	6,9% a.a.
Consumo (projetado)	2010	10.458	10.521	10.573
Consumo (projetado)	2030	15.845	18.492	21.167

Fonte: MINERALdata (2010); SMB (2010); MME/DNPM (2009).

Comparados estes resultados com os obtidos no estudo da ANDA (2009a) “*Projeção de Entregas de Fertilizantes no Brasil 2008-2020*”, realizado em 25 de março de 2009, verifica-se que eles são muito semelhantes. Enquanto a ANDA estima para 2020 um aumento de 51,4%, em relação a 2008 nas entregas dos produtos fertilizantes no Brasil, a projeção aqui apresentada obtém, para o mesmo período, um aumento de 41,9%, para o Cenário 1 (Frágil), 52,1%, para o Cenário 2 (Vigoroso) e de 61,2% para o Cenário 3 (Inovador).

Nas projeções do consumo de fertilizantes por habitante (kg de nutrientes/hab/ano), o consumo por habitante brasileiro ultrapassa, desde os primeiros anos da projeção, o consumo por habitante dos EUA. Em 2030 tem-se um consumo por habitante nos EUA de 55,9 kg e um consumo brasileiro de, respectivamente, 73,2 kg, 85,4 kg e 97,8 kg/hab, para cada um dos três cenários, mesmo levando-se em conta a proxy dos EUA no consumo por habitante do Brasil no modelo econométrico.

Projeção (cenários) da produção até 2030

A seguir apresentam-se as projeções para o setor de misturas, as fábricas misturadoras de adubos, que constituem o último elo industrial da Cadeia do NPK. Existem estatísticas anuais, que constituem uma longa série editada pela ANDA, do consumo efetivo de fertilizantes, medido pelas toneladas de produtos e nutrientes (N, P e K) contidos nas entregas aos agricultores das diferentes misturas de fertilizantes. A indústria de base de fertilizantes (matérias-primas e produtos intermediários) requer a existência de fábricas de misturas que processem os diferentes fertilizantes em produtos finais que são classificados em três tipos: a mistura de finos, os granulados de sólidos finos e, finalmente e mais importante, a mistura de granulados. A produção neste elo da Cadeia NPK de produtos finais fertilizantes é sensivelmente igual à demanda da agricultura, ou seja, utilizando-se a nomenclatura da ANDA, iguais às entregas de produtos finais fertilizantes aos consumidores (agricultores), existindo alguns casos de agricultores que são também misturadores (comprando os produtos intermediários), mas tal situação não tem expressão estatística em nível nacional.

Assim, as necessidades de novas expansões da produção interna das misturadoras para atender à demanda interna agrícola no Brasil estão na tabela seguinte. Também foi calculado o investimento necessário para sua instalação, partindo-se de um custo estimado de R\$ 15 milhões para o investimento total de uma unidade de mistura com a capacidade de 300.000 t/ano. Sabe-se ainda que, segundo as estatísticas da ANDA para 2008, 1 tonelada de produto final entregue ao agricultor, em média, corresponde a 2,4 toneladas de nutrientes contidos, e que, portanto, para um custo de R\$ 50,00 por tonelada adicional instalada de produto, tem-se o equivalente a R\$ 120,00 de custo para a capacidade adicionada de uma tonelada em nutrientes. Obtém-se, assim, o valor para o total de investimentos requeridos, apresentados abaixo junto com os de ampliação da capacidade de produção correspondentes para os três cenários da economia.

Tabela 3 - Necessidade de ampliação da capacidade produtiva na cadeia de NPK (em 1000 t de nutrientes) para atender à demanda agrícola de fertilizantes finais.

	Ampliação de capacidade produtiva (1000 t de n)		
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Capacidade instalada (2010)	10.000	10.000	10.000
Capacidade instalada projetada para 2030	15.845	18.492	21.167
Ampliação necessária entre 2010 a 2030	5.845	8.492	11.167
Investimento (em milhões de reais)	701,4	1.019,0	1.340,0

Fonte: Elaboração dos autores, a partir de dados primários da ANDA (2009b).

Supondo-se agora que a demanda de bens de capital corresponda a 40% do valor dos investimentos projetados para o período 2010 a 2030, e os serviços de engenharia, a 15%, encontram-se a seguir estimados os correspondentes valores, segundo os três cenários considerados.

Tabela 4 - Estimativa de 2010 a 2030 dos bens de capital e os serviços de engenharia.

Cenários	Investimento total (R\$ milhares)	BC e SE (R\$ milhares)	
		BC	SE
1	701,4	661	105,1
2	1.019,0	407,3	150,0
3	1.340,0	560,0	201,0

Nota: BC = Bens de capital; SE = Serviços de Engenharia.

Fonte: Elaboração própria pelos autores, a partir de dados primários ANDA (2009b).

O BNDES informou, em outubro de 2009, que está pronto para financiar projetos na área de fertilizantes, já que a indústria tem anunciado importantes investimentos para os próximos cinco anos. Entre o segundo semestre de 2008 e o primeiro semestre de 2009, foi liberado pelo BNDES um total R\$ 4,4 bilhões, o que mostra uma aceleração, dado que, ao longo de 2008, as liberações não passaram de R\$ 2,7 bilhões.

Projeções de mão-de-obra no período de 2010-2030

O número total de trabalhadores na produção dos diferentes produtos finais fertilizantes, ou seja, na fabricação de misturas, é de 40.000 empregados, segundo o diretor executivo da AMA, e inclui tanto os trabalhadores das misturadoras integradas quanto das não-integradas. Para uma produção em 2008 de 9.387 mil toneladas de nutrientes contidos nos produtos finais, obteve-se uma produtividade nas misturadoras de 235 toneladas/trabalhador/ano (9,4 milhões de toneladas de nutrientes/ano/40.000 trabalhadores). Se calcularmos os trabalhadores necessários para os acréscimos de produção no período de 2010 a 2030, considerando melhorias de produtividade para os cenários Vigoroso e Inovador, teremos, respectivamente, os valores de 235 toneladas de nutriente/trabalhador/ano para o Cenário 1, 270 toneladas de nutriente/trabalhador/ano no Cenário 2 e, finalmente, no Cenário 3, 300 toneladas de nutriente/trabalhador/ano, conforme apresentado na tabela seguinte.

Tabela 5 - Mão-de-obra na produção de produtos finais fertilizantes nas projeções de 2010-2030.

Cenários	Capacidade instalada (10 ⁶ t/ ano - NPK)			Produtividade t/homem/ano	Novos postos de trabalho	Total de mão-de-obra
	Atual	2030	Adicional			
1	10,0	15,8	5,8	235	24.680	64.680
2	10,0	18,5	8,5	270	31.481	71.481
3	10,0	21,2	11,2	300	37.333	77.333

Fonte: Estimativa dos autores.

Quanto ao perfil da mão-de-obra, trata-se de um segmento produtivo com um processo tecnológico de mera mistura de fórmulas pré-fixadas de produtos intermediários e/ou matérias-primas, exigindo, nas operações de mistura, ensacamento e distribuição, trabalhadores com pouca qualificação.

Considerações finais sobre os produtos finais fertilizantes (NPK)

As projeções para o futuro do agronegócio brasileiro indicam crescimento da área plantada, da produção e da produtividade, mas também apontam fatores críticos capazes de afetar a competitividade das *commodities* brasileiras no mercado internacional. Dentre os mais relevantes insumos, os fertilizantes se destacam pela capacidade de afetar os custos de produção agrícola, influenciando significativamente a competitividade deste setor. Aproximadamente 70% das entregas totais de produtos fertilizantes são utilizadas nos cultivos de soja, milho, cana-de-açúcar e café, sendo que destes apenas o milho é um cultivo para consumo interno. Este milho, porém, é insumo básico para a alimentação animal, que é base da indústria de carnes, grande item da pauta de exportação brasileira.

Em praticamente todos os ramos e segmentos da cadeia de NPK existem insuficiências no mercado, com importações avultadas indicando falta de autonomia e consequente subordinação aos ditames do mercado internacional. Entretanto, encontra-se em andamento no Brasil uma estratégia governamental visando à diminuição da insegurança na produção agrícola, através de novas normas de um marco regulatório, visando a um rápido aumento da oferta nacional de fertilizantes e de suas matérias-primas no subsolo brasileiro.

ENXOFRE

Apenas 490.000 toneladas de enxofre em 2008 foram produzidas no país para um consumo brasileiro total de 2.666.000 toneladas, totalizando 18,4%.

Segundo as estatísticas oficiais da produção mineral no Brasil (SMB, 2010), a produção de enxofre no país advém de três diferentes fontes. A maior parte, 67%, computa o enxofre contido no ácido sulfúrico que é produzido em processos metalúrgicos que tratam minérios sulfetados de ouro, zinco, níquel e cobre; 28% é obtido da remoção de compostos sulfurosos presentes em combustíveis derivados de petróleo, como o diesel e a gasolina; e 5% pela remoção desses mesmos compostos do folhelho betuminoso. As três fontes, portanto, são de sub ou coprodutos de atividades industriais outras que não as de produção de enxofre.

No médio e longo prazo, as perspectivas são de que as exigências legais de caráter ambiental apontem para combustíveis mais limpos, implicando em que o enxofre que é recuperado pela Petrobras a partir do tratamento dos combustíveis apresente um ritmo de crescimento expressivo (mais expressivo), a exemplo do que ocorre nos países desenvolvidos.

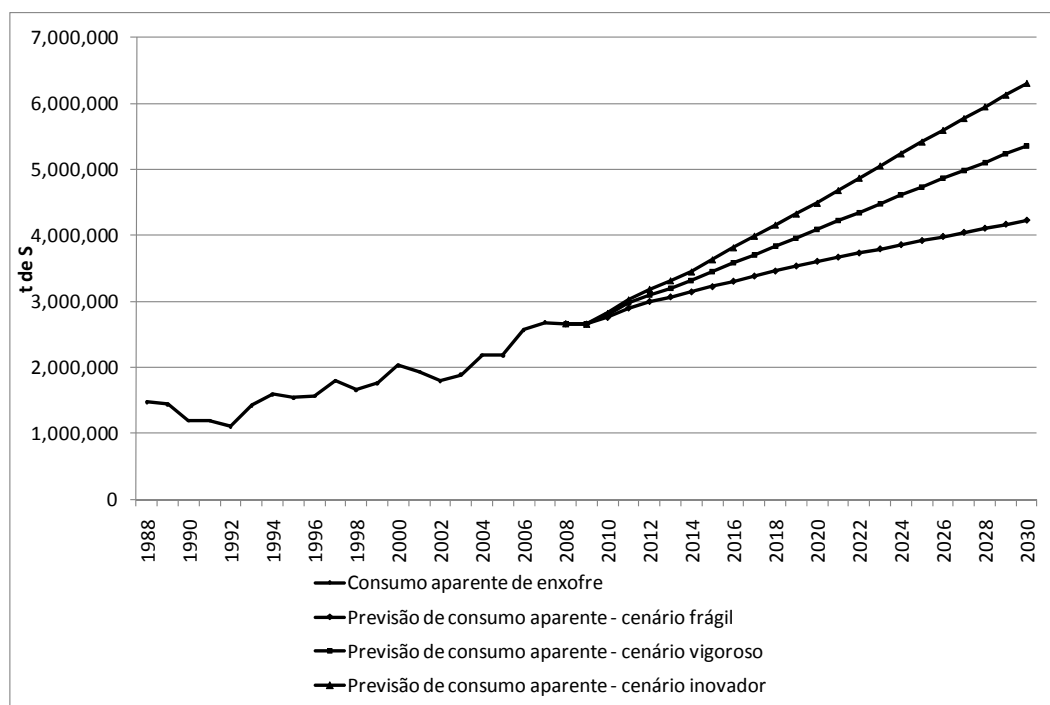
O enxofre tem como uso mais importante a indústria de fertilizantes, perfazendo 82% do consumo brasileiro, sendo um insumo indispensável da cadeia do NPK. Nos últimos 30 anos, de 1978 a 2007, o consumo brasileiro de enxofre praticamente quadruplicou, sendo que o elevado crescimento verificado, bem superior ao crescimento do PIB brasileiro neste período, se deve principalmente à intensificação da produção agrícola brasileira, demandando mais e mais fertilizantes e, consequentemente, maiores quantidades de diferentes matérias-primas e produtos intermediários (como o enxofre).

As importações ficaram predominantemente vinculadas ao consumo das empresas de fertilizantes, com a finalidade de obtenção do ácido sulfúrico. Nos últimos anos, os preços internacionais do enxofre mostraram um comportamento relativamente estável, destoando do comportamento oscilante observado nas principais *commodities* minerais e nas outras substâncias da cadeia do NPK. Apenas no período de junho de 2007 a julho de 2009 os preços do enxofre sofreram forte instabilidade (BM, 2009).

Projeção de consumo de enxofre entre 2010 a 2030

A projeção de consumo de 2010 a 2030 (total e por habitante) considerou três macrocenários para a evolução da economia: o cenário 1, designado por Frágil, com 2,3 % de crescimento médio anual; o cenário 2, designado por Vigoroso, ao qual se arbitrou um crescimento médio anual de 4,6%; e, finalmente, o cenário 3, chamado de Inovador, com 6,9% de crescimento médio ao ano.

Nessas projeções utilizou-se o padrão de consumo por habitante médio de países já industrializados (no caso, os EUA) como uma *proxy* do ponto de saturação do consumo por habitante brasileiro.



Fonte: SMB (2010); MME/DNPM (2009).

Gráfico 2 - Consumo aparente de enxofre, projeções 2010-2030.

O consumo de enxofre projetado para 2030 é cerca de 60% superior ao de 2008 no cenário Frágil, 100% no cenário Vigoroso e 140% no cenário Inovador, mostrando a existência de grandes oportunidades e desafios neste setor. A tabela com as quantidades projetadas e a produção efetiva em 2008 é apresentada a seguir.

Tabela 6 - Projeções do consumo aparente do enxofre no Brasil - 2010-2030 – em t de S.

Consumo aparente (t)	2008	2.666.000 t	
Cenários	Frágil	Vigoroso	Inovador
Crescimento do PIB	2,3 % a.a.	4,6% a.a.	6,9% a.a.
Consumo aparente (projetado) 2010	2.761.983	2.795.931	2.823.867
Consumo aparente (projetado) 2030	4.228.452	5.350.335	6.306.099

Fonte: SMB (2010); MME/DNPM (2009).

Considerando-se que há um descompasso muito preocupante entre a realidade agrícola brasileira, considerando-se o Brasil como um dos maiores produtores do mundo em diferentes culturas agrícolas, e a necessária retaguarda para a sua sustentação, é de se salientar que se torna dramática a projeção das tendências para o futuro, quando só se amplia esse fosso. É também preocupante a situação do elo seguinte do enxofre na cadeia do NPK, qual seja, o ácido sulfúrico, que é a principal matéria-prima de aplicação intermediária na fabricação de diversos produtos, dentre eles, os fertilizantes solúveis (SMB, 2010).

A evolução do consumo por habitante de enxofre no Brasil e nos EUA é apresentada no gráfico seguinte.

No Brasil tem-se hoje um consumo de 14 kg/hab, 50% maior daquele da década de 1980, sendo que, os EUA, com 40 kg/hab atualmente, apresentava um consumo daquela ordem na década de 1940. Na UE-

27⁵, o consumo atual é de 9 kg/hab, enquanto o consumo mundial é da ordem de 7 kg/hab (IFA, 2009; UE, 2009; UN, 2009). Vai sensivelmente diminuindo a distância entre os consumos por habitante nos dois países. Como veremos a seguir, antes de 2030 o consumo por habitante de enxofre no Brasil ultrapassa o dos EUA para os cenários Inovador e Vigoroso.

Projeção (cenários) de produção de 2010 até 2030

Partindo-se de perspectivas gerais com relação às fontes de obtenção de enxofre nos próximos 20 anos no país, considera-se que a fonte mais promissora é a da recuperação do enxofre para atender às leis ambientais cada vez mais exigentes, levando-se em conta, inclusive, a entrada em produção dos novos depósitos de petróleo e gás natural recém-descobertos, incluindo o campo de Júpiter, no pré-sal da Bacia de Santos, que irá entrar em produção no curto prazo.

Com relação a esta fonte, segundo previsões da Petrobras, a carga de petróleo processada deverá passar dos atuais 1,8 milhão de barris para 2,3 milhões de barris em 2013 e 3,0 milhões em 2020, um aumento médio anual de 4,8%, com as novas refinarias, em construção, entrando em produção. E, ainda, estão em estudo projetos para a implantação de outras refinarias para atender ao pré-sal.

Por outro lado, a Petrobras-SIX tem realizado investimentos em São Mateus, no Paraná, para aumento da capacidade de recuperação de enxofre, principalmente nas usinas de reciclagem de pneus e borracha⁶. Acredita-se que, com os investimentos aplicados, haverá um incremento da produção de enxofre a partir do folhelho, após 2009.

Em relação ao enxofre produzido como coproduto de metais, as estimativas das quantidades adicionais previstas ou em implantação (ampliação ou novo projeto) são de que haverá um aumento na produção de enxofre, porém também há indicações de que haja um aumento no consumo de ácido sulfúrico nestes grupos metalúrgicos.

Pesquisa realizada em publicações setoriais, como Brasil Mineral e Minérios & Minerales, SMB (2010) e Albuquerque (2008), apontam, como investimentos recentes em ampliação da capacidade produtiva de enxofre, os seguintes:

A AngloGold concluiu, em 2007, um projeto de US\$ 210 milhões de expansão da mina Cuiabá/MG, estendendo a vida útil do minério aurífero sulfetado até 2012 e ampliando a capacidade de produção de sua planta de concentrado (1,4 milhão/ano) e metalúrgica. A capacidade de produção de ácido sulfúrico foi ampliada, assim, para 260 mil t/ano (86 mil toneladas de S), através de um investimento de 36 milhões de dólares na planta de ácido sulfúrico e ustulação na unidade metalúrgica de Queiroz. Foram produzidas, em 2007, 189.209 toneladas.

A Mineração Caraíba tem planos de se transformar em polimetálica (ouro em Nova Xavantina/MT, ferro vanádio e ferro-gusa do rejeito do beneficiamento, além do cobre no oxidado da pilha adjacente à mina). No cobre, anuncia que irá duplicar a produção da sua mina subterrânea, aprofundando-a, de 650.000 t/ano ROM para 1,3 milhões t/ano ROM e, ainda, também em cobre, desenvolver o projeto de cobre no Pará, da mina Boa Esperança, uma nova mina. Entretanto, haverá consumo de ácido sulfúrico para a lixiviação da pilha de rejeitos. Prevêem-se investimentos de US\$ 254 milhões até 2012.

A Votorantim Metais pretende ampliar a produção de níquel em suas várias frentes: a expansão da unidade de Vazante, de 152 mil toneladas para 200 mil toneladas de concentrado, com investimentos de R\$ 369 milhões e conclusão prevista para 2012; na unidade de Três-Marias, ampliando a produção de zinco, de 180 mil para 260 mil toneladas de zinco, com investimentos de R\$ 394 milhões (SMB 2010; Brasil Mineral; 2009).

⁵ União Européia a 27 países.

⁶ A Petrobras/SIX reaproveita pneus inservíveis no processamento do xisto, obtendo desse material gás, óleo e enxofre. Segundo site da empresa (PETROBRAS, 2010), o volume de pneus adicionado corresponde a 5% do volume total de xisto processado.

Dos novos projetos de produção de minerais metálicos que utilizam o enxofre / ácido sulfúrico como um insumo necessário ao seu processo produtivo, computam-se cinco projetos de cobre e um de níquel, todos localizados no Pará e da Vale (Albuquerque e Azambuja, 2008).

Ainda, é de se referir que se mantém paralisado o projeto de recuperação de enxofre, utilizando como matéria-prima a pirita associada ao carvão de Santa Catarina, que poderia abastecer o empreendimento de Anitápolis na produção de ácido fosfórico. Considerando-se que um fator que tem contribuído para um acréscimo significativo no preço final dos fertilizantes é o elevado custo com o frete, no caso de Anitápolis há a grande vantagem da proximidade entre o município e a região produtora de carvão, que é de cerca de 120 km (SMB, 2010).

Por último, tem-se um recente projeto de pequeno porte na cadeia de NPK do grupo canadense Yamana, que adquiriu a empresa Itafós. Esse deverá instalar em Novo Horizonte/GO um complexo químico industrial para a produção de ácido sulfúrico, aproveitando as 580.000 t/ano de concentrado de pirita recuperado dos rejeitos de minério de cobre, obtendo também ouro e cobre. O concentrado fosfático obtido em Arraias/TO, em jazida de sua propriedade, pela compra da Itafós, será transportado para o complexo, onde serão produzidos a partir de 2012 fertilizantes fosfatados. O município de Novo Horizonte tem localização estratégica em relação ao mercado consumidor do Centro-Oeste e Norte, onde a demanda é crescente em função da expansão da atividade agrícola. O valor total do investimento, sendo parte substancial para o setor de metálicos, atinge a quantia de US\$ 200 milhões.

Entretanto, as expansões em curso ou programadas para os próximos anos (Tabela 7) de produção de fertilizantes fosfatados vão criar novas plantas produtoras de ácido sulfúrico, que demandarão, evidentemente, uma maior quantidade de enxofre.

Tabela 7 - Relação de projetos de investimento (2008-2013) de ácido sulfúrico da indústria de fertilizantes.

Produto	Empresa	Capacidade de produção (em t/ano)			Localização	Prev.	Sit. ⁽¹⁾
		Atual	Futura	Aumento			
Ácido sulfúrico	Fosfertil	1.915.000	2.390.000	475.000	Uberaba-MG	2010	A
Ácido sulfúrico	Fosfertil	0	1.400.000	1.400.000	Patrocínio-MG	2012	A
Ácido sulfúrico	IFC	0	200.000	200.000	Anitápolis-SC	2011	B
Ácido sulfúrico	TOTAL	1.915.000	3.990.000	2.075.000	t de H ₂ SO ₄		

Nota: Sit. - Situação ⁽¹⁾ Estágio do projeto: A = Aprovado/em andamento, B = Planejado/ em estudo.

Fonte: ABIQUIM (ABIQUIM 2009), Brasil Mineral (2009).

Com relação aos resultados obtidos, pode-se comentar que, mesmo admitindo-se um horizonte tão conservador para a produção nacional de enxofre em 2030, a se manterem os níveis de investimentos dos projetos em curso, dificilmente se conseguirá atingir os números projetados.

Considerações finais sobre o enxofre

Apesar de o enxofre ser obtido como coproduto das metalúrgicas de diferentes metais, do petróleo e ainda do xisto betuminoso, as quantidades não são suficientes para atender às necessidades do consumo brasileiro. Há uma dependência quase integral do enxofre importado. As expectativas qualitativas para o futuro não são animadoras, tanto mais estando em curso um grande programa de produção de etanol e de biocombustíveis, que necessitará deste insumo estratégico para a fabricação de fertilizantes, não se vislumbra, até o presente, uma estratégia de governo voltada para o enxofre.

Finalmente, a obtenção de enxofre a partir do aumento das exigências legais de combustíveis mais limpos, diminuindo-se o teor mínimo admissível do enxofre e não protelando prazos acordados, parece ser apenas um paliativo, embora nada desprezível. A entrada de novos empreendimentos minerais com beneficiamento de metais associados à obtenção de ácido sulfúrico no processo também apresenta tendência de ampliação.

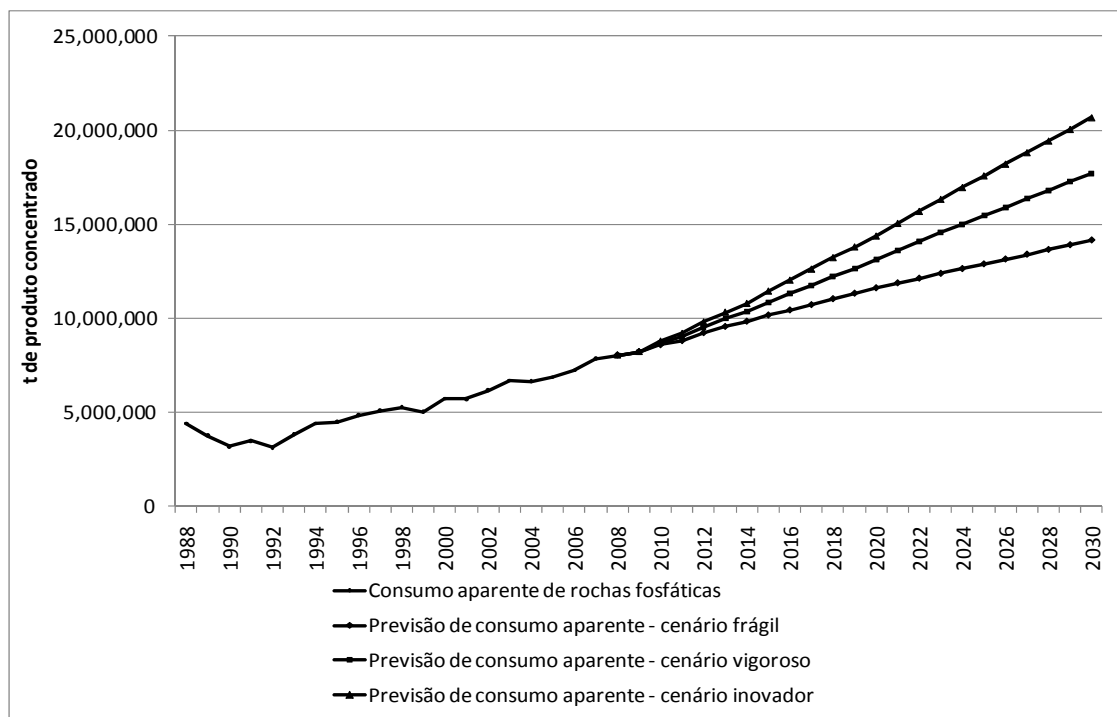
ROCHA FOSFÁTICA

O fosfato (ou concentrado de rocha fosfática) é uma matéria-prima de grande importância porque é um elo-base na cadeia dos fertilizantes químicos NPK, insumo fundamental da agricultura. A produção brasileira de rocha fosfática está localizada nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, próxima aos principais mercados consumidores. Não se trata, como já foi enfatizado antes, de um mercado concorrencial, pois existe forte concentração da oferta. Os preços desta *commodity* no Brasil tendem a refletir os movimentos dos preços internacionais, a que se somam, no Brasil, atividades de formação artificial (especulativa) do preço com estoques elevados, constituídos a partir das compras por importações. Os preços internacionais da rocha fosfática sofreram forte oscilação entre 2007 e 2008 por conta da ação dos especuladores, mas têm gradativamente voltado a valores mais próximos da média histórica dos últimos anos e, segundo estimativas do Banco Mundial, aí permanecerão até 2020 (BM 2009). A produção de rocha fosfática não é intensiva em mão-de-obra, empregando pouco mais de duas mil pessoas, sendo quase a metade destas em regime terceirizado. O uso principal (68%) da rocha fosfática no Brasil é na indústria de fertilizantes, mas há, também, um conjunto grande de outras aplicações, como na alimentação animal e nas indústrias químicas.

Se analisarmos os últimos 30 anos, de 1978 a 2008, o consumo brasileiro de rocha fosfática aumentou cerca de seis vezes. Entre 1990 a 2007, o consumo *per capita* brasileiro passou de 21,5 para 42 kg/hab/ano, quase três vezes menor do que o dos EUA, mas duas vezes maior do que o consumo médio *per capita* mundial.

Projeção de consumo até 2030 (total e per capita)

O consumo aparente de rocha fosfática projetado para 2030 é apresentado a seguir, medido por toneladas de concentrado de rocha fosfática. Como para as outras projeções, a projeção de consumo de 2010 a 2030 (total e *per capita*) considera três macrocenários para a evolução da economia: o cenário 1, designado por Frágil, com 2,3 % de crescimento médio anual; o cenário 2, designado por Vigoroso, ao qual se arbitrou um crescimento médio anual de 4,6%; e, finalmente, o cenário 3, chamado de Inovador, com 6,9% de crescimento médio ao ano. Também foi considerado o padrão de consumo *per capita* médio de nações já industrializadas (no caso, os EUA), como uma *proxy* do ponto de saturação do consumo *per capita* brasileiro.



Fonte: SMB (2010).

Gráfico 3 - Consumo aparente de rocha fosfática, Projeções 2010-2030.

Os resultados obtidos mostram que o consumo chega a mais do que duplicar no Cenário 3 -, Inovador, duplica no Cenário Vigoroso 2 - e cresce 70% no Cenário Frágil - 1. Os dados da sua evolução encontram-se a seguir, tanto em gráfico como em uma tabela sintética.

O gráfico demonstra quantidades substanciais de rocha fosfática que serão requeridas em 2030, entre 14 e 20 milhões de toneladas de concentrado. Seria necessário, então, um acréscimo de 8 a 14 milhões de toneladas para se atingir a autossuficiência (a produção brasileira em 2008 foi de 6 milhões de toneladas), o que seria requerido em novos projetos e ampliações. Como se verá no item seguinte, sobre as expectativas de novos investimentos, os empreendimentos anunciados, mesmo se todos cumpridos, ainda não conseguirão suprir as necessidades do consumo esperado.

Projeção da produção de rocha fosfática até 2030

A projeção da produção de rocha fosfática para atendimento da meta da autossuficiência em cinco anos, ou seja, em 2015, dar-se-ia com a adição de 4 a 5 milhões de toneladas à produção atual de 6 milhões de t/ano, o que corresponderia exatamente ao montante dos novos projetos anunciados, como a seguir discriminados. Para a manutenção dessa autossuficiência no período de 2015 a 2030, seria necessário ainda um novo aporte, entre 5, 7 e 10 milhões de toneladas anuais de concentrado de rocha fosfática para os cenários de crescimento do PIB Frágil, Vigoroso e Inovador, respectivamente.

Há atualmente anúncio de novos projetos e/ou ampliação dos já existentes, ao longo de toda a cadeia de NPK, para começarem a operar entre 2010 e 2015. As empresas Fosfertil, Anglo American⁷, Bunge e Galvani divulgaram projetos e números que, se concretizados, trarão expressivos aumentos da produção nacional e diminuirão sensivelmente a atual dependência.

⁷ O projeto de ampliação da mina de Catalão, em Goiás, em mais de 1 milhão de toneladas, pelo grupo Anglo American, está suspenso, uma vez que este anunciou que irá se retirar dessa atividade no Brasil e em breve estará vendendo a terceiros os seus ativos.

Para os fertilizantes fosfatados, há cinco novos projetos (greenfield): dois projetos na Serra do Salitre, em Patrocínio/MG, um em Anitápolis/SC, outro em Arraias/TO e finalmente um em Santa Quitéria/CE. Das ampliações de empreendimentos já existentes (brownfield) registram-se os de Tapira/MG, Barreiro, em Araxá/MG, Lagamar/MG, Angico Dias/BA e Catalão/GO.

Consolidando estes projetos, apresenta-se a Tabela 10 a seguir com as informações sobre os investimentos previstos para rocha fosfática no Brasil para os próximos cinco anos.

Tabela 10 - Relação de projetos de investimento em rocha fosfática.

Empresa	Capacidade de produção (em t/ano)			Localização	Prev.	Sit. (1)
	Atual	Futura	Aumento			
Fosfertil	0	2.000.000	2.000.000	Serra do Salitre/Patrocínio- MG	2013	B
Fosfertil	2.030.000	2.230.000	200.000	Tapira - MG	2010	A
Fosfertil	1.109.000	1.209.000	100.000	Catalão- GO	2010	A
Bunge	1.000.000	1.350.000	350.000	Barreiro em Araxá- MG	2010	B
Galvani	0	400.000	400.000	Serra do Salitre/Patrocínio - MG	2011	A
Galvani			100.000	Serra do Salitre/Patrocínio - MG	2013	A
Galvani	380.000	900.000	520.000	Lagamar-MG/ Angico Dias-BA	2011	A
Galvani	0	240.000	240.000	Santa Quitéria-CE	2015	A
IFC	0	300.000	300.000	Anitápolis-SC	2011	B
TOTAL	4.519.000	8.729.000	4.310.000			

Nota: * (1) Estágio do projeto: A = aprovado/em andamento, B = planejado/ em estudo.

Fonte: Elaboração dos autores/ABIQUIM (2009), Brasil Mineral (2009).

Os dados mostram que os planos de investimento para rocha fosfática, em implantação ou apenas anunciados, se concretizados, adicionarão 4,3 milhões de toneladas anuais até 2013, significando que o País atingiria a autossuficiência. Mas não existe certeza de que todos eles se concretizarão.

Considerações finais sobre a rocha fosfática

A concentração da oferta de rocha fosfática nas regiões Sudeste e Centro-Oeste deverá se manter para os próximos anos, sendo que, mesmo com uma maior utilização de rochagem ou de materiais alternativos ou de aplicação de rocha fosfática parcialmente acidulada na agricultura, não mudaria o cenário, uma vez que são necessárias jazidas ricas em apatita para sua produção e estas estão concentradas nas regiões produtoras atuais.

Nos últimos seis anos não se ampliaram as reservas brasileiras, mas as projeções de 2010 a 2030, segundo os três cenários da evolução do PIB, indicam que, mesmo sem a adição de novas reservas, estas apresentam o porte necessário para sustentar a autossuficiência. Entretanto, segundo levantamento do DNPM as áreas tituladas com alvarás de pesquisa e com relatórios finais de pesquisa sob análise no DNPM permitem um adicional da ordem de 25% às reservas de rocha fosfática no Brasil, podendo o Brasil até vir a se tornar um exportador.

Acredita-se que o fraco desempenho desta indústria na última década deveu-se, em grande parte, a razões estruturais, à sua organização econômica em concorrência imperfeita, tratando-se de um mercado produtor altamente concentrado, oligopolizado por grandes grupos internacionais, que, ao mesmo tempo em que controlavam as entregas de produtos fertilizantes aos agricultores, mantinham atividades de *traders* na outra ponta da cadeia, qual seja, na produção de *commodities* agrícolas. Recentes modificações no controle acionário das empresas produtoras de matérias-primas e produtos intermediários, com a

compra por uma única empresa (a Vale) de todos os ativos, necessitam de perspectiva para serem avaliadas.

Esforços governamentais estão sendo desenvolvidos para mais bem gerenciar as reservas já existentes e em fase de pesquisa, para efetivar os investimentos prometidos e anunciados pelos grandes grupos, para a melhor utilização dos recursos minerais brasileiros, em nome do interesse nacional. Trata-se de um complexo desafio, dado que no presente momento as cotações dos produtos fertilizantes estão em ciclo de baixa e as expectativas de longo prazo são de estabilização um pouco abaixo dos preços históricos.

Com as aquisições pela Vale ocorridas no início de 2010, recaem sobre esta empresa as decisões de todos os novos projetos listados, com exceção dos da Galvani. Ao longo desse ano de 2010 ocorrerão os anúncios com a confirmação ou modificação dos planos da mineradora para a rocha fosfática no Brasil.

POTÁSSIO

O potássio, junto com o fósforo e o nitrogênio, é componente essencial dos fertilizantes químicos, agrominerais que são matérias-primas que garantem a produtividade agrícola em todo o mundo. Apesar de o potássio ser relativamente abundante nas rochas, as necessidades deste elemento para a produção agrícola no Brasil são de grande monta.

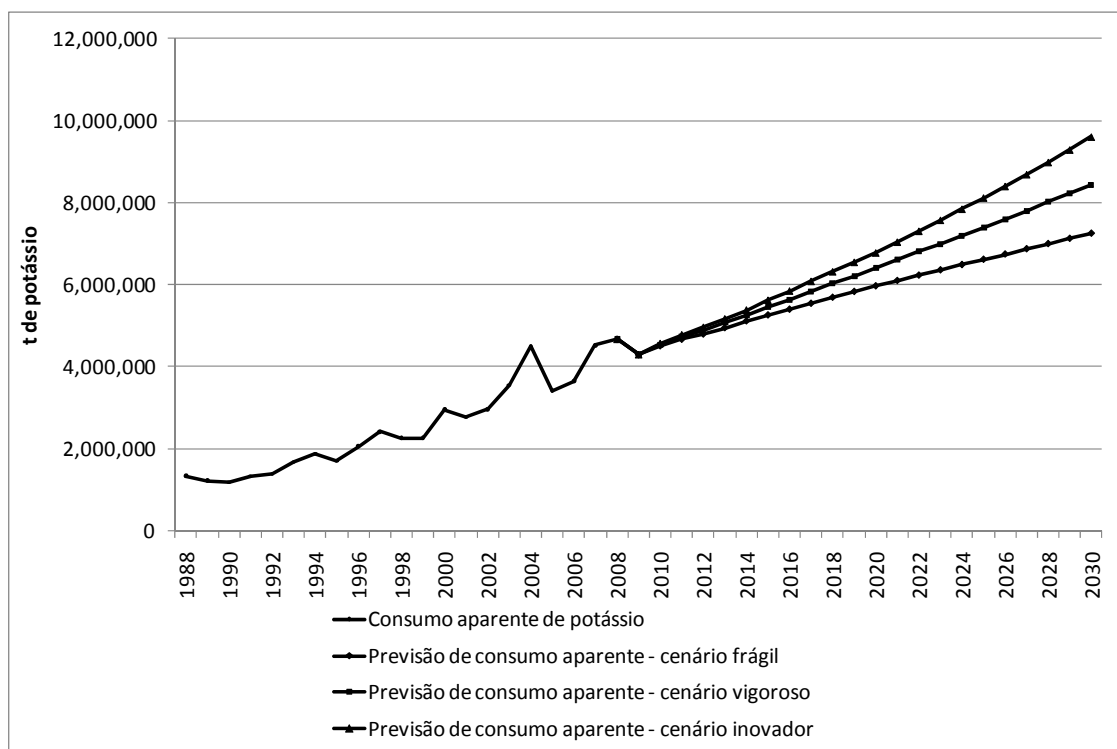
O potássio é produzido no Brasil por uma única empresa, a Vale S/A, porém a capacidade de produção desta empresa só é suficiente para abastecer 9% do consumo nacional. Entre 2005 e 2008, os preços desta *commodity* dispararam, atingindo valores muito altos, tendo praticamente triplicado. Analistas apontam como causas a financeirização do mercado do potássio que, a exemplo de outras *commodities* e especificamente de todas as *commodities* fertilizantes, passou a ser alvo de grandes movimentos especulativos de capitais no mercado de futuros, com o registro em bolsa das principais empresas produtoras e, ainda, das operações de grande vulto dos principais *players* para uma estocagem elevada do produto. Esse processo, porém, se interrompeu com a chamada crise internacional de 2008, sendo que, em meados de 2009, as projeções do Banco Mundial já apontavam para a normalização dos preços do potássio em um nível ainda um pouco menor que os seus preços históricos (BM, 2009).

Para o Brasil, dados da ABIQUIM mostram que 95% do consumo de potássio se dá na produção de fertilizantes e os 5% restantes na indústria química. O Brasil consome anualmente 4,6 milhões de toneladas de potássio (em produto KCL), mas produz apenas 600 mil toneladas. Fontes alternativas de potássio de várias naturezas têm sido estudadas. Esses estudos indicam a necessidade de práticas diversas de aplicação de fertilizantes, como a rochagem, para se buscar novos padrões para a incorporação dos elementos nutrientes aos solos empobrecidos (Chaves, 2010). O consumo *per capita* brasileiro foi, em 2007, de 24,1 kg/hab/ano, valor superior ao dos EUA.

Projeção de consumo até 2030 (total e per capita)

A seguir apresenta-se o consumo aparente projetado, segundo os três cenários, para 2030. O gráfico mostra as quantidades adicionais requeridas de potássio para atender a estas necessidades, segundo cada um dos três cenários.

A projeção de consumo até 2030 (tanto a total quanto a *per capita*) também considera o padrão de consumo *per capita* médio de nações já industrializadas (no caso, os EUA), como uma *proxy* do ponto de saturação do consumo *per capita* brasileiro (MME, 2009; Mendo, 2009). Os resultados obtidos mostram que o consumo mais que duplica no Cenário 3, cresce 90% no Cenário 2 e cresce 70% no Cenário 1.



Fonte: Elaboração própria./ SMB (2010); MME/DNPM (2009).

Gráfico 4 - Consumo aparente de potássio, projeções 2010-2030.

Tabela 11 - Projeções do consumo aparente de potássio 2010 – 2030 em t de K₂O.

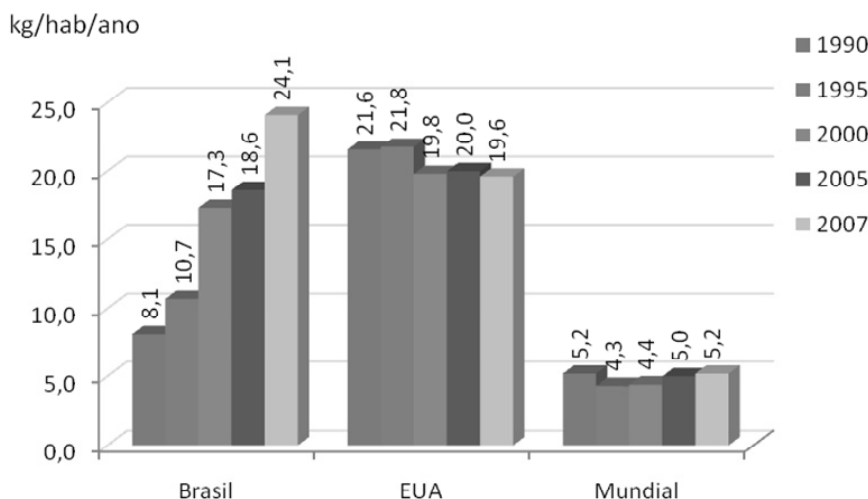
Consumo aparente (t)	2008	4.663.000 t de K ₂ O		
Cenários	Frágil	Vigoroso	Inovador	
Crescimento do PIB	2,3 % a.a.	4,6% a.a.	6,9% a.a.	
Consumo aparente (projetado) 2010	4.508.565	4.539.240	4.564.371	
Consumo aparente (projetado) 2030	7.246.627	8.427.537	9.602.097	

Fonte: Elaboração própria./ SMB (2010); MME/DNPM (2009).

A tabela mostra que, segundo a projeção, o consumo crescerá em montantes de 3 a 5 milhões de toneladas de K₂O até 2030, atingindo de 7,2 a 9,6 milhões de toneladas de K₂O, dependendo do cenário de crescimento do PIB considerado. O consumo de potássio brasileiro já está entre os três primeiros mundialmente e a tendência é que esta importância se mantenha, o que coloca um desafio de grandes dimensões ao se pensar na segurança de seu abastecimento interno, considerando-se o tamanho da dependência de fontes externas.

Destaca-se que no momento há expectativas de vultosos investimentos em Sergipe e no Amazonas que poderão mudar o panorama atual de insuficiência no médio e longo prazos, através de adição de capacidade produtiva significativa.

Na evolução do consumo por habitante de potássio no Brasil, nos EUA e no mundo, de 1990 a 2007. O gráfico mostra que o consumo per capita brasileiro em 2007 foi de 24,1 kg/hab/ano, apresentando, no período de 1990 a 2007, um aumento de 198%, e tendo, no último ano, ultrapassado os valores dos EUA. As razões que explicam a disparidade no comportamento deste índice é que, no Brasil, as proporções de potássio e fósforo necessárias à fertilização dos solos são bem superiores, e isso se dá tanto pelas características dos seus solos quanto pelo tipo de culturas principais, como soja, cana-de-açúcar e café.



Fonte: Elaboração própria./SMB (2010) - consumo aparente (BR); IBGE (2009) - população (BR); consumo aparente (EUA); U.S. Census Bureau (2008) - população (EUA).

Gráfico 5 - Consumo *per capita* de potássio no Brasil, EUA e no mundo.

Projeção (cenários) de produção até 2030

Partindo-se de um consumo atual de 4,6 milhões de t/ano, as projeções do consumo para 2030 evidenciaram que serão necessárias mais 3 a 5 milhões de toneladas de K_2O para atender apenas ao crescimento do consumo aparente, quantidades essas muito significativas, principalmente quando se comparadas com a produção interna atual de apenas 400 mil t/ano. Sendo assim, colocando-se como meta a autossuficiência até 2030, teríamos então uma necessidade suplementar produtiva com novos projetos de 7 a 9 milhões de t/ano de K_2O .

Os dois novos projetos, os únicos assegurados até a presente data (outubro de 2009), a serem executados pela Vale, adicionam 1,7 milhões de t/ano (a mina atual irá subtrair a sua produção em 10 anos porque se extingue) mas estão longe de atender às necessidades do mercado interno. Em 2008 a dependência externa no consumo brasileiro de potássio atingia o recorde de 91% e, aos níveis de consumo brasileiro de hoje, representa apenas a diminuição da dependência em quarenta por cento.

O primeiro projeto, denominado Projeto Carnalita, localizado na mesma sub-bacia Taquari-Vassouras, em Sergipe, da mina em atividade, prevê lavra por dissolução a 1.100 m de profundidade, tem um investimento total estimado em US\$ 844 milhões, vida útil de 40 anos, para uma capacidade de 1,2 milhões de KCl para entrar em operação a partir de 2014. O segundo projeto de potássio, o Projeto Santa Rosa de Lima, pretende explorar silvinita na sub-bacia Santa Rosa de Lima, também em Sergipe, e tem início previsto para 2013. O método de lavra deverá ser por dissolução de fluxo direcional, em um investimento de US\$ 500 milhões, e capacidade para 500 mil toneladas de KCl/ano.

Além desses projetos já aprovados, estão sendo feitos grandes esforços governamentais para o deslanchar de projetos na Amazônia, principalmente em Nova Olinda do Norte, no estado do Amazonas, em uma jazida com reservas de 1,0 bilhão de toneladas e teor médio de 18,5% (teores que variam entre 14,31 a 38,69%), que permitiria a formação de um novo parque industrial no Amazonas, o cloroquímico. Dado o tamanho da jazida, a segunda no mundo em superfície, seria tecnicamente viável, de imediato na primeira fase, uma produção de 2 milhões de t/ano, o triplo da atual produção nacional, a um custo de US\$ 3 bilhões e com um prazo de três anos para a sua implantação. Existem problemas de ordem ambiental e logística, uma vez que a jazida encontra-se em uma região próxima ao rio Madeira, a 1,2 mil metros de profundidade, contabilizando milhões de toneladas de rejeito. A vida útil estimada para as reservas é de 500 anos.

O recurso às importações pelo Brasil deverá se manter ao longo do período em análise (2010-2030), a menos que se amplie o quadro de novos projetos, porque a dimensão anunciada para o ainda hipotético projeto de Nova Olinda no Amazonas (2,0 milhões de t), somado aos dois novos projetos de Sergipe de 1,7 milhões de toneladas de potássio, e os projetos alternativos, que são de pequeno porte, totaliza uma quantidade adicional à produção brasileira de cerca de 3,7 milhões de toneladas ao fim dos próximos cinco anos, insuficiente para atender à demanda. O hiato, a insuficiência em potássio, é em 2008 de 4 milhões de t/ano.

Considerações finais sobre o potássio

Reveste-se de grande importância, assim, a necessidade de se investir em pesquisas geológicas e tecnológicas no sentido de viabilizar no Brasil a descoberta e desenvolvimento de recursos geológicos não tradicionais (jazidas a grandes profundidades e/ou *off-shore*) e, também, das pesquisas agronômicas voltadas para a diminuição do consumo dos fertilizantes potássicos, aumentando o aproveitamento dos fertilizantes aplicados.

Com o novo posicionamento da Vale no mercado brasileiro de fertilizantes, espera-se que também no potássio sua estratégia torne-se mais agressiva e pró-ativa, o que poderia proporcionar uma dimensão mais otimista para o abastecimento interno desses imprescindíveis insumos do agronegócio.

Referências bibliográficas

- ABIQUIM (2009), Guia da Indústria Química. Associação Brasileira da Indústria Química - ABIQUIM. São Paulo.
- ALBUQUERQUE, G. D. A. S. D., AZAMBUJA, R. S.(2008), "Capítulo 6 – agrominerais: enxofre", Rochas e minerais industriais, 2ª edição. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Rio de Janeiro, p. 320-339.
- ANDA (2009a), Projeção de entregas de fertilizantes no Brasil 2008-2020. Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA. São Paulo.
- ANDA (2009b), Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes. Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA. Vários anos. São Paulo.
- BM (2009), Commodity price data, development prospects group. Banco Mundial (BM). Url: <http://econ.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/EXTDEC/EXTDECPROSPECTS/0,,contentMDK:21148472~menuPK:538204~pagePK:64165401~piPK:64165026~theSitePK:476883,00.html>.
- BOX, G. E., JENKINS, G. M., REINSEL, G. C. (2008), Time series analysis: forecasting and control. 4 ed. Wiley.
- BRASIL MINERAL (2009), AS MAIORES empresas do setor mineral. Brasil Mineral. Ano XXV. n. 287. São Paulo.
- CHAVES, A. P. (2010), "Rotas tecnológicas convencionais e alternativas para a obtenção de fertilizantes", Agrominerais e Biocombustíveis, CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro
- GUJARATI, D. N., PORTER, D. C.(2008), Basic econometrics. McGraw-Hill New York.
- IBGE (2009), Projeção da população do Brasil por sexo e idade para o período 1980-2050 (Revisão 2008). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Rio de Janeiro.
- IFA, (2009), World sulphur: statistics by country, in 1000 tonnes P2O5. Production and International Trade Committee. The International Fertilizer Industry Association – IFA. França, <http://www.fertilizer.org>.
- KULAIF, Y.(2009), Relatório Técnico 75: Perfil dos Fertilizantes N-P-K. Plano Duo-Decenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - PDGMT 2010/2030.
- MATLAB (2009), The Mathworks MatLab & Simulink, <http://www.mathworks.com/>.

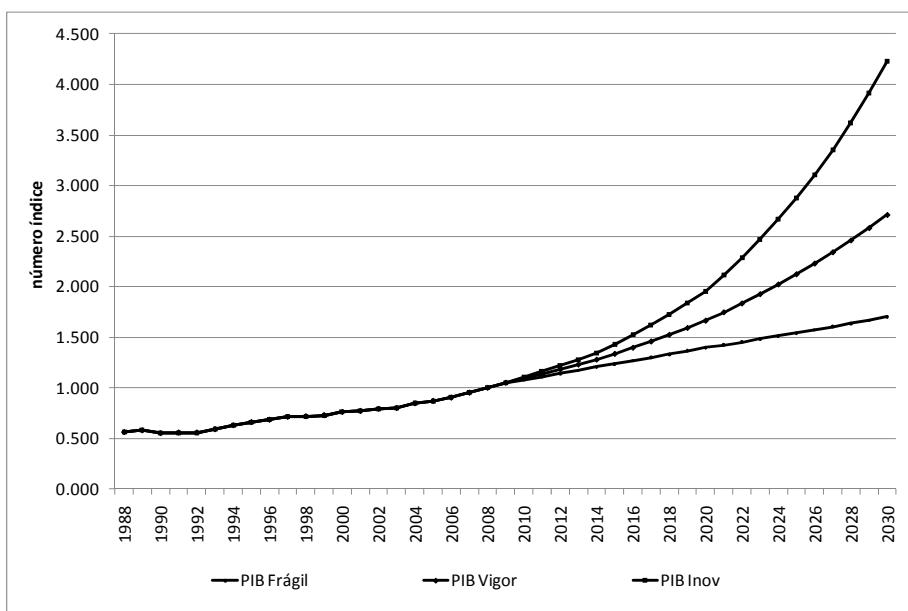
- MENDO, J. (2009), Relatório Técnico 01: Histórico e perspectivas de evolução macroeconômica setorial da economia brasileira a longo prazo. Elaboração do Plano Duo-Decenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - PDGMT 2010/2030. Ministério de Minas e Energia - MME. Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM. Brasília.
- MINERALdata (2010), Séries históricas do setor mineral brasileiro, <http://w3.cetem.gov.br:8080/mineral-data>.
- MME (2009), Elaboração do Plano Duo-Decenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. PDGMT 2010/2030. Perspectiva Mineral. Url: http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/publicacoes/Perspectiva_Mineral/Perspectiva_Mineral_n_1_07-julho-2009.pdf.
- MME/DNPM (2009), Prévia da indústria mineral 2009-2008. Ministério de Minas e Energia - MME. Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM. Brasília, 2009. Url: http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/publicacoes/Previa/Previa_da_Industria_Mineral_2009_2008.pdf.
- RODRIGUES, A. F. D. S. (2008), Agronegócio e mineralnegócio: relações de dependência e sustentabilidade. Informe Mineral, v.8, p. 28 a 47. 2o Semestre de 2008. Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM. Brasília. Url: http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=3116.
- SMB (2010), Sumário Mineral Brasileiro. Departamento Nacional da Produção Mineral. Departamento Nacional da Produção Mineral. Vários números, desde o número 1, em 1970 e a última publicação em 2008. ano-base 2007. Url: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=64>.
- SUSLICK, S. B. (1991), "Previsão do Consumo de Alumínio Primário no Brasil por meio de Modelos de Intensidade de Uso", Revista Brasileira de Geociências - São Paulo - SP, v. 21, n. 3, p. 275-284.
- SUSLICK, S. B., HARRIS, D. P., ALLAN, L. H. E. (1995), "SERFIT: An algorithm to forecast mineral trends", Computers & Geosciences, v. 21, n. 5 (Jun.), p. 703-713.
- Tsay, R. S. (2001), Analysis of Financial Time Series. 1 ed. Wiley-Interscience.
- U.S. Census Bureau (2008), Current population reports. US Population.
- UE, (2009) Portal de estatísticas EUROSTAT: população, PIB e outros, somatório UE, e por cada país da UE-27, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home>.
- UN (2009), World population prospects: the 2008 revision population database. United Nations Population Division. United Nations - UN. Nova Iorque.

ANEXO – EXEMPLO DE CÁLCULO DE PROJEÇÕES

A seguir é apresentado o processo de previsão utilizado para as séries temporais de fertilizantes. A primeira etapa é a de transformação de dados. A segunda etapa é a de ajustamento do modelo. A terceira etapa é a de saturação via *proxy* do consumo de nações desenvolvidas.

Transformação para número índice

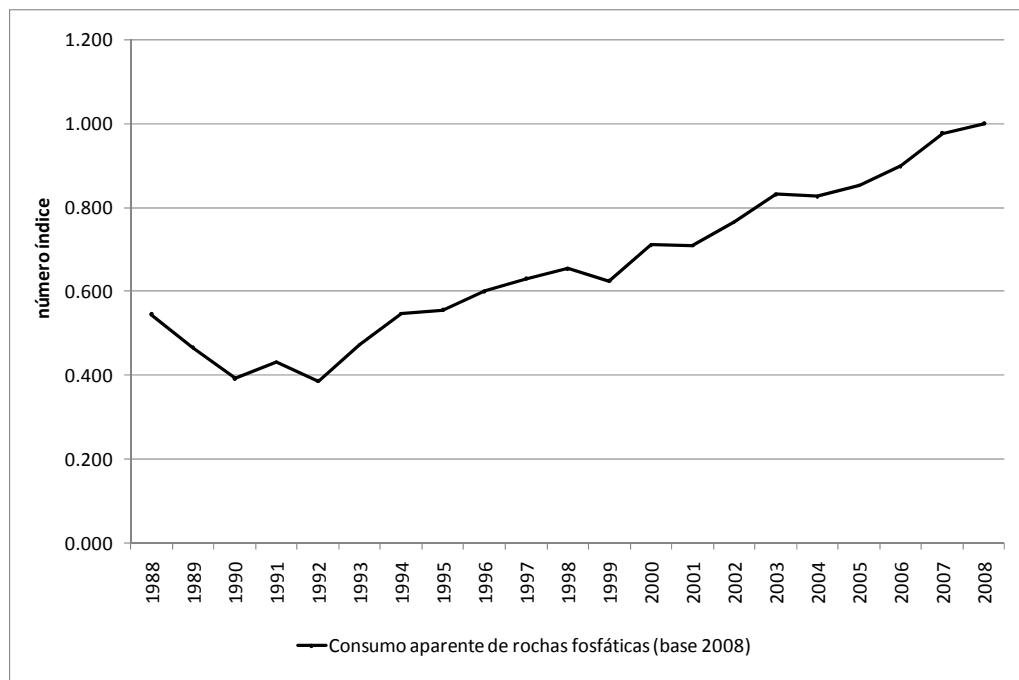
A primeira transformação realizada consiste em aplicar o número índice em cada série temporal. O objetivo é igualar as escalas das séries de modo a nivelar as forças dos regressores no modelo de previsão. Em cada série, todos os valores são divididos por um número fixo daquela série. Este número é o valor da série em um determinado ano e o ano escolhido para todas as séries estudadas foi o de 2008.



Fonte: IPEADATA (2009).

Gráfico A1 - PIB (ano base 2008).

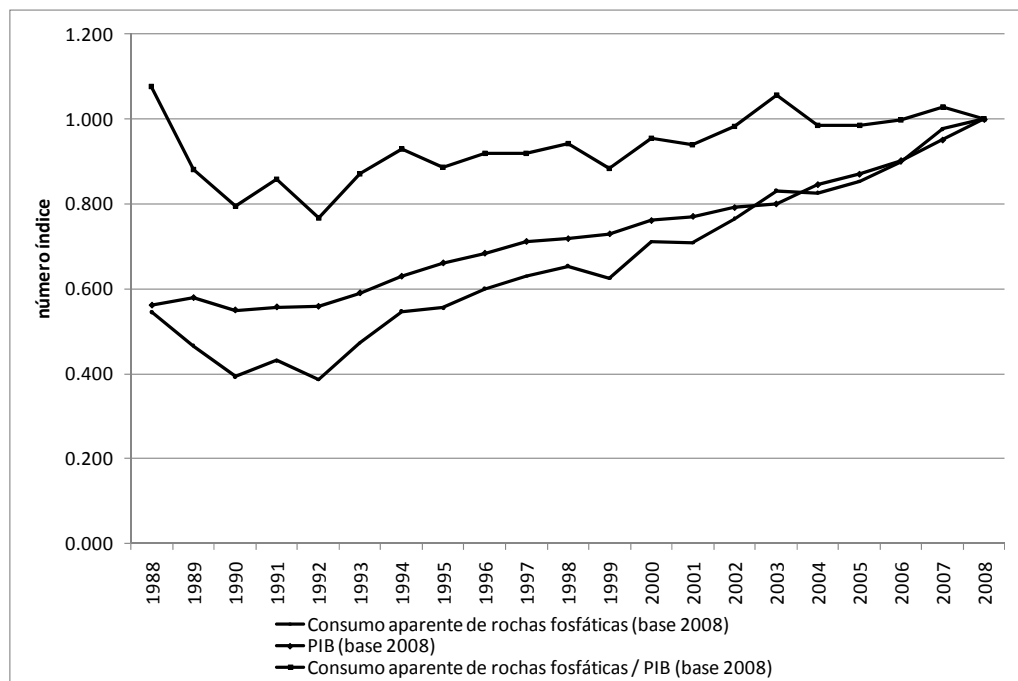
O mesmo processo foi realizado sobre o consumo de cada fertilizante e consumo por habitante, mas, por uma questão de espaço, neste texto apenas o exemplo de consumo de rocha fosfática é apresentado.



Fonte: Elaboração dos autores a partir de dados primários do IPEADATA (2009) e MINERALDATA (2009).

Gráfico A2 - Consumo aparente de rocha fosfática (ano base 2008)

A partir destas transformações, pode-se realizar um paralelo entre o PIB, o consumo aparente de rocha fosfática e a série transformada pelo PIB.

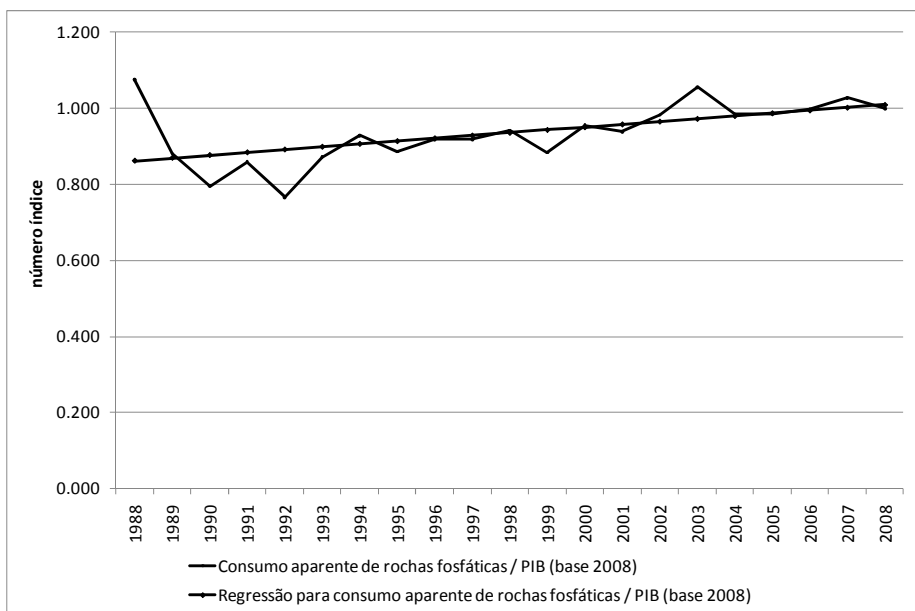


Fonte: Elaboração dos autores a partir de dados primários do IPEADATA (2009) e MINERALDATA (2009).

Gráfico A3 - Consumo aparente de rocha fosfática pelo PIB.

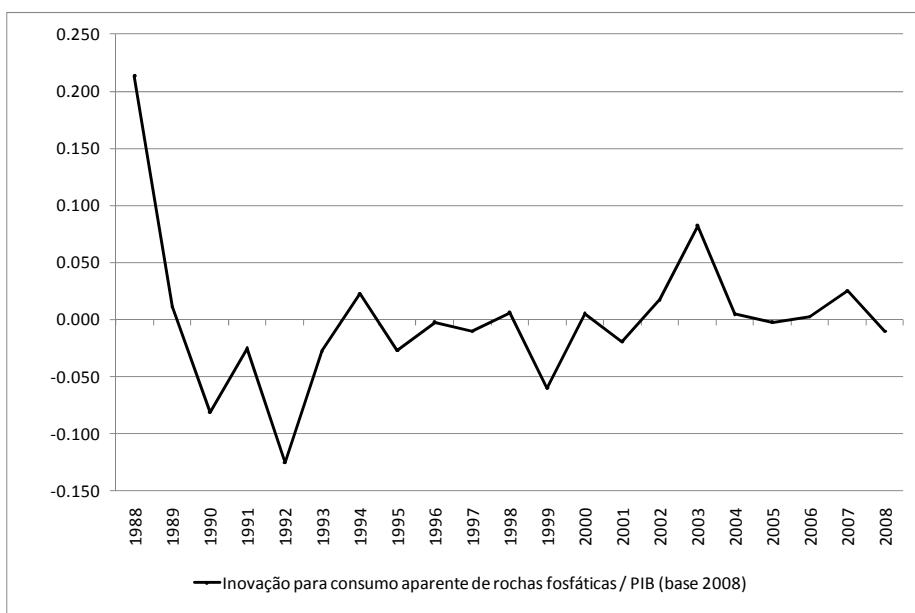
Pode-se observar que a série transformada (consumo aparente/PIB) é não estacionária e que possui tendência. É necessário retirar a tendência desta série de modo a se poder aplicar a modelagem Box-Jenkins. Para se remover a tendência, basta calcular a regressão linear sobre a série transformada.

Gráfico A4 se subtrair a série original do valor da regressão. O resíduo da série transformada pelo valor da regressão linear é a série sem tendência. Esta diferença é comumente conhecida como inovação (Gujarati e Porter, 2008). A modelagem Box-Jenkins é feita em cima da inovação.



Fonte: Elaboração dos autores a partir de dados primários do IPEADATA (2009) e MINERALDATA (2009).

Gráfico A4 - Regressão linear do consumo aparente de rocha fosfática pelo PIB.



Fonte: Elaboração dos autores a partir de dados primários do IPEADATA (2009) e MINERALDATA (2009).

Gráfico A5 - Inovação do consumo aparente de rocha fosfática pelo PIB.

Modelo Box-Jenkins para previsão de fertilizantes

A partir da inovação (Gráfico A5) pode-se calcular a autocorrelação da série. O objetivo da autocorrelação é obter os lags para se aplicar o modelo Box-Jenkins.

Pode-se observar que o *lag* é igual a dois para esta série e o ajustamento do modelo Box-Jenkins é feito em cima desta configuração. Uma vez tendo sido ajustado o modelo Garch, pode-se calcular a previsão da inovação para série temporal e se reaplicar a tendência de volta. Isso permite gerar a previsão do consumo aparente pelo PIB, que pode ser obtido pela multiplicação do PIB previsto pelo valor da previsão. A partir da modelagem via Box-Jenkins pode-se realizar a previsão preliminar (Gráfico A6 - Autocorrelação da inovação).

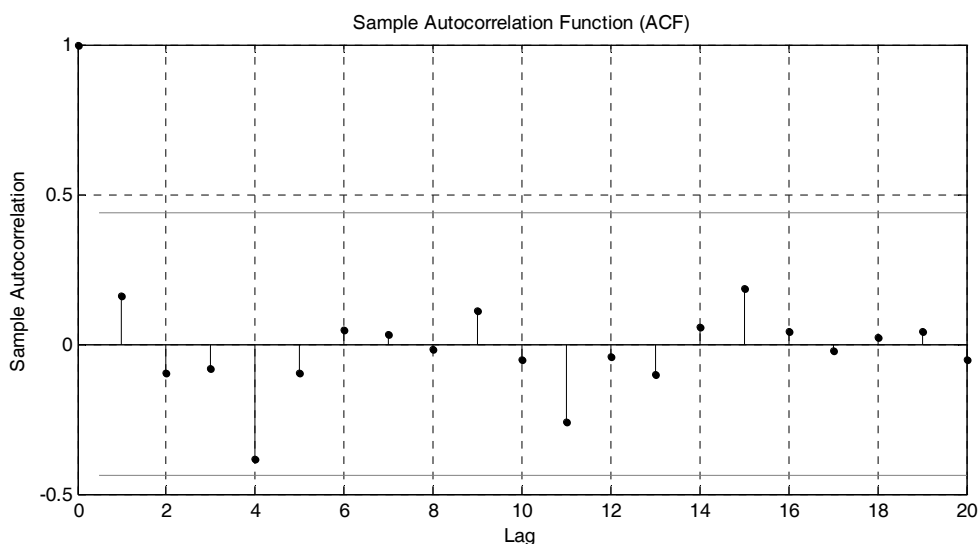
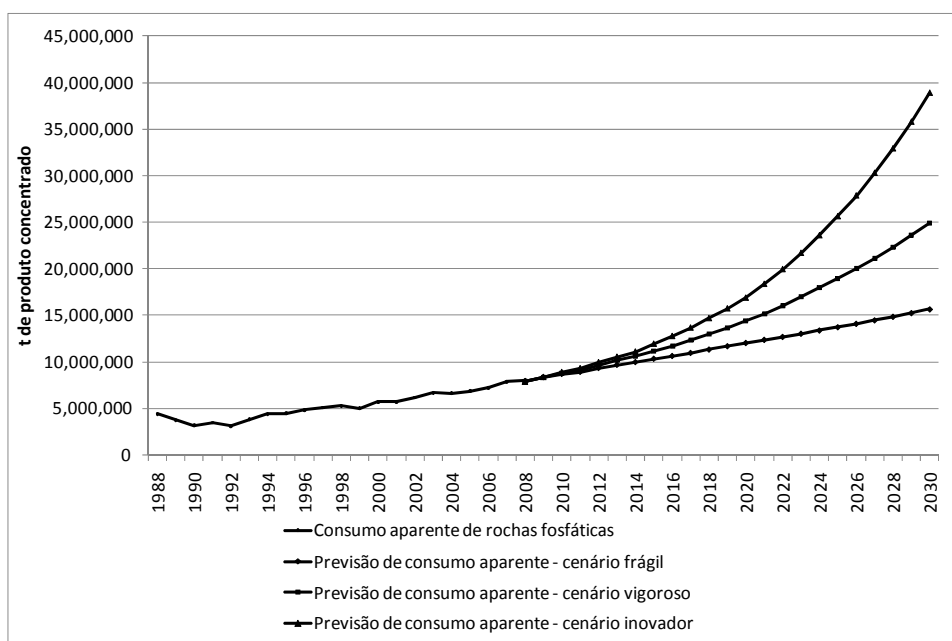


Gráfico A6 - Autocorrelação da inovação.



Fonte: Elaboração dos autores a partir de dados primários do IPEADATA (2009) e MINERALDATA (2009).

Gráfico A7 - Previsão preliminar.

Saturação do modelo

Na Gráfico A7 pode-se observar que, no cenário inovador, o PIB cresce fortemente (mais de quatro vezes). É de se esperar que a sua componente agrícola, parte intimamente ligada aos fertilizantes, não cresça nas mesmas proporções do PIB como um todo. Isso já é observado atualmente. Desta forma, é necessário aplicar uma saturação da capacidade de propagação do crescimento do PIB ao consumo dos fertilizantes. Entretanto, a saturação deve seguir um modelo.

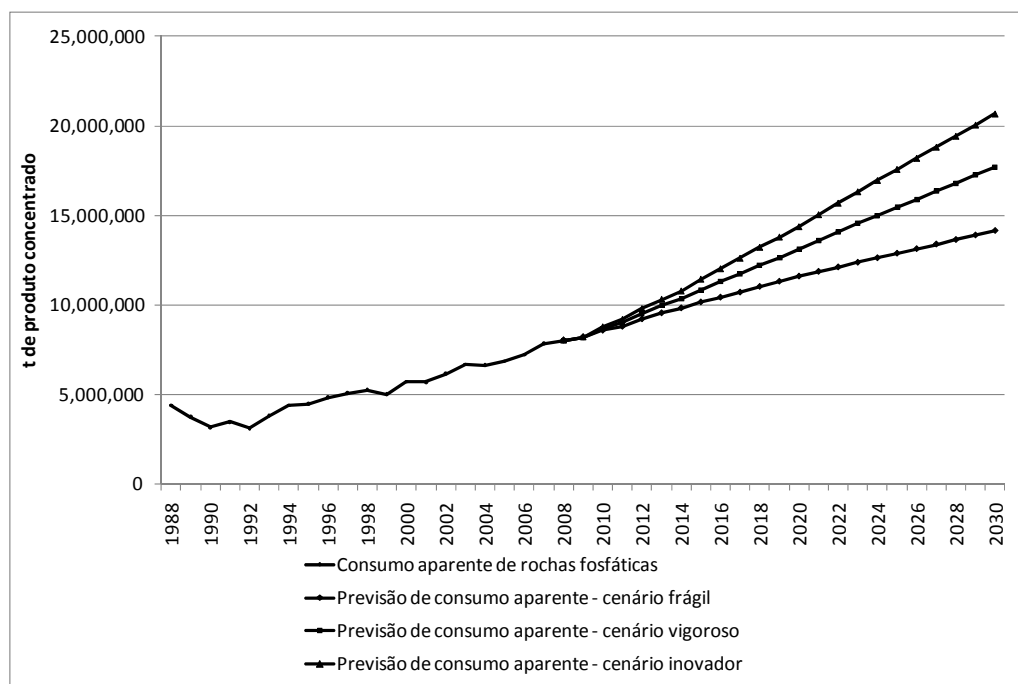
O modelo de saturação apresentado é baseado na função sigmóide, definida como $f(x) = \frac{1}{1+e^{-\lambda x}}$ para todo x real. O nome sigmóide vem da forma em S do seu gráfico. Ela é obtida pela solução da seguinte equação diferencial: $\frac{dy}{dx} = \lambda(y)(1-y)$, com y entre 0 e 1. A função sigmóide pode ser escrita como:

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-\lambda x}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \tanh\left(\frac{\lambda x}{2}\right).$$

Desta forma, pode-se estabelecer um limiar de saturação da previsão, regido pela seguinte equação:

$$\text{Previsão Ajustada} = \text{Valor em 2008} * e^{\frac{\tanh(c \cdot \ln(\frac{\text{Previsão Original}}{\text{Valor em 2008}}))}{a}}$$

A constante c é obtida pelo melhor ajustamento do modelo aos dados passados segundo o método de Newton-Raphson (Burden e Faires, 1994). Com este ajustamento, a previsão passa a ficar saturada, conforme apresentado no Gráfico A8.



Fonte: Elaboração dos autores a partir de dados primários do IPEADATA (2009) e MINERALDATA (2009).

Gráfico A8 - Previsão saturada para a rocha fosfática.

UM ESTUDO DAS PRINCIPAIS LAVOURAS PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

MARIA HELENA M. ROCHA LIMA¹
NILO DA SILVA TEIXEIRA²

O Brasil poderá expandir suas plantações tanto para a indústria de alimentos quanto de biocombustíveis³. Dentre os fatores que deverão impulsionar a produção de biocombustíveis nos próximos anos, confirmando um futuro promissor para os agentes envolvidos tanto com a cadeia produtiva do etanol quanto do biodiesel, estão:

- a existência de amplas áreas disponíveis para a produção agrícola: além das características, como clima e solo diversificados, chuvas regulares, sol em abundância e 13% de toda água doce disponível no mundo, existe no Brasil mais de 280 milhões de hectares em terras aráveis (Agroanalysis, 2008b). Mais especificamente, o território nacional conta com uma área de 851 milhões de hectares, sendo que somente 64,7 milhões de hectares (7,6%) são ocupados por lavouras perenes e temporárias (Floriani, 2008).
- o crescimento da demanda mundial pelas fontes de energia renováveis: baseados em alta de preço do petróleo, pressão ambiental pelo uso de fontes renováveis de energia e diminuição dos custos de produção dos biocombustíveis no médio prazo. A forte e contínua elevação dos preços do petróleo de princípios de 2004 até meados de 2008, quando passaram dos níveis considerados normais de US\$ 30 o barril para um valor próximo de US\$ 130, criou perspectivas promissoras para o álcool combustível, que ainda não foram abaladas pela atual queda nos preços do petróleo. A confiança nessa nova fonte de energia é o reconhecimento de que o álcool poderá vir a se tornar uma das possíveis soluções a problemas de oferta de combustíveis, incluindo também a mitigações de problemas ambientais⁴.
- a adoção de legislação que estabelecerá percentuais mínimos de aditivos limpos nos combustíveis fósseis, por diversos países. A produção de biodiesel tem um grande potencial econômico, levando-se em conta que a legislação em favor do uso do biodiesel, em vários países na União Européia e nos EUA, estimula a demanda e abre futuros mercados.

A Agência Internacional de Energia (IEA) estima um crescimento de 53% do mercado mundial de agroenergia para os próximos 25 anos, decorrente da diminuição das reservas de petróleo e sua substituição por alternativas renováveis (Agroanalysis, 2008b).

Assim como o Brasil possui grande aptidão na produção do etanol, tendo como matéria prima a cana de açúcar, igual potencial se vislumbra para a produção do biodiesel. Este produto além de ser uma alternativa ecológica, ainda desponta como um negócio economicamente atraente.

O Brasil reúne vantagens comparativas em relação a outros países e poderá se tornar relevante exportador de energias alternativas, mas para assegurar a continuidade do bom desempenho, investimentos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico na área, que já existem, devem ser incentivados e aumentados.

Esse trabalho pretende apresentar um panorama das culturas adequadas à produção de biocombustíveis, enfocando a produção agrícola da cana de açúcar na produção do etanol e da soja na produção do biodiesel.

¹ D.Sc. Universidade de São Paulo (USP). Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). E-mail: mrocha@cetem.gov.br

² Mestrando da Escola Nacional de Ciências Estatísticas do IBGE. Bolsista do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). E-mail: nteixeira@cetem.gov.br.

³ Em pesquisa feita por especialistas pela FIA/USP, estes são fatores que devem impulsionar a produção de biocombustíveis no país (Valor Econômico, 2007).

⁴ Os projetos nessa área podem se destacar como candidatos preferenciais a serem apoiados pelas políticas de financiamento, estabelecidas pelo Protocolo de Kyoto (INFOENER, 2009).

Etanol

Do ponto de vista químico, o álcool é um produto genérico sendo que o tipo de álcool extraído da cana-de-açúcar é o álcool etílico, cuja designação está associada à sua particular composição dos átomos de carbono e de hidrogênio na cadeia molecular. O álcool etílico, que também é designado de etanol, é usado como combustível veicular em duas diferentes formas: (i) etanol hidratado, que possui, em média, 6,0% de água em sua composição, utilizado como combustível em veículos do tipo 'flex-fuel', que têm um motor que permite o uso de 100% desse produto, o uso de 100% de gasolina ou ainda a mistura em qualquer proporção desses dois combustíveis, (ii) etanol anidro, que é o etanol hidratado após passar por um processo de purificação para retirada de, praticamente, toda a água existente em sua formulação, e é usado em mistura com a gasolina na proporção de 20% a 25%, dependendo da disponibilidade do produto e da política oficial.

CANA DE AÇÚCAR: MATÉRIA PRIMA UTILIZADA NA PRODUÇÃO DO ETANOL

A cana de açúcar é a principal matéria prima para a indústria sucroalcooleira brasileira. Trata-se do nome comum de uma herbácea vivaz, planta da família das gramíneas, originária da Ásia Meridional⁵, cultivada principalmente em países tropicais e subtropicais, onde se alternam estações secas e úmidas e onde a colheita se dá no período seco do ano ou que apresenta a ocorrência de poucas chuvas. Na região Centro-Sul este período se prolonga de meados de abril a meados de dezembro e nos estados tradicionais produtores de cana-de-açúcar do Nordeste, esta colheita ocorre de setembro a março.

O Quadro 1 apresenta algumas informações técnicas⁶ da cultura da cana. O rendimento médio por hectare cresceu substancialmente na última década, mesmo levando em conta diferenças substanciais entre regiões. Novas variedades já utilizadas têm o potencial de gerar até 120 toneladas por hectare. No atual padrão tecnológico em uso no país cada tonelada da cana de açúcar moída, que gera energia equivalente a 1,2 barris de petróleo, tem um rendimento próximo a 82 litros de álcool por tonelada de cana e gera uma quantidade média de 80 quilowatts de energia elétrica com a queima do bagaço resultante da moagem. Segundo análise do Valor Econômico (2007) cada tonelada de cana moída converte-se em 89 litros de etanol hidratado ou 85 litros de etanol anidro nos estados da região Centro-Sul.

Quadro 1 - Informações técnicas da cultura da cana no Brasil.

Ciclo	6 a 7 anos
Número médio de cortes	5 cortes
Produtividade da cana	85 t/ha (120-65)
Rendimento de açúcar	138 kg/t
Rendimento de álcool	82 l/t

Fonte: MAPA, 2009.

A cana de açúcar é uma cultura semiperene e predomina como uma monocultura na ocupação do solo. Permite até cinco cortes e sua colheita, que tradicionalmente é realizada através de queimadas e tem um efeito altamente poluidor do meio ambiente, tem sido substituída pela colheita mecanizada⁷. A safra de 2008/09 teve 47% da colheita no Estado de São Paulo mecanizada (Agroanalysis, 2008a). Os principais

⁵ A primeira muda foi trazida por Martin Afonso de Souza em 1532, tendo a produção de açúcar iniciado, em meados do século XVI, um ciclo econômico que durou certa de 150 anos e que teve seu auge no século seguinte, quando se tornou o maior produtor mundial de açúcar. Portanto, a produção de cana de açúcar foi a primeira atividade produtiva instalada no Brasil.

⁶ Os parâmetros técnicos atuais da cultura de cana no Brasil podem ser resumidos em: 1 kg de açúcar = 1,0495 kg atr (açúcar total recuperável), 1 litro de anidro = 1,812kg kg atr, 1 litro hidratado = 1,7412 kg atr. (Agroenergia, 2009).

⁷ A colheita mecanizada só pode ser realizada em terrenos com menos de 12% de declive e apresentam a vantagem de manter a palha da cana como resíduo que garantem a fertilidade do solo.

países produtores de cana-de-açúcar além do Brasil, que ocupa o primeiro lugar, são a Índia, a Austrália e a Tailândia.

A cana de açúcar é a matéria prima com maior rendimento e menor custo de produção e que mais atende a sustentabilidade ambiental, tendo em vista que praticamente todos os resíduos da indústria canavieira podem ser reaproveitados. Em primeiro lugar, a energia consumida no processo produtivo pode ser o próprio resíduo, no caso o bagaço em co-geração, a chamada torta de filtro formada pelo lodo advindo da clarificação do caldo é muito rica em fósforo e pode ser utilizada como adubo para a própria lavoura de cana, além da vinhaça, que é um subproduto da produção de álcool, que contém elevados teores de potássio também utilizado como fertilizante.

PROCESSO DE PRODUÇÃO: AÇÚCAR/ETANOL

O processamento da cana de açúcar é feito a partir da colheita do caule (chamado de colmo) que é primeiramente moído e em seguida concentrado por fervura, resultando no mel ou melaço, sendo que a cristalização desse melaço produz o açúcar. Através de um processo de fermentação, o mesmo caldo dá origem, tanto a cachaça e outras bebidas alcoólicas, como ao etanol.

Por outro lado, as fibras ou o bagaço resultantes da moagem do caule podem ser usados como matéria prima para a produção de energia elétrica, co-gerada através de queima e produção de vapor em caldeiras que, além de realizarem a cocção do caldo para fabricação de açúcar e a destilação do álcool, movimentam turbinas e geradores de eletricidade.

Poderão também no futuro próximo, quando plantas fabris com o uso das novas tecnologias estiverem disponíveis comercialmente, produzir mais etanol – segunda geração da tecnologia - através de hidrólise enzimática ou por outros processos que transformam a celulose em açúcares fermentáveis. A produção de biocombustíveis de segunda geração envolve desenvolvimento de diversas rotas tecnológicas como hidrólise, pirólise, gaseificação e novos processos de fermentação. A produção de etanol por meio de biomassa de cana de açúcar – palha e bagaço – é uma alternativa para a expansão do setor, através de desenvolvimento tecnológico e não implica em aumento de área plantada. A celulose existente na palha e no bagaço pode gerar álcool, preservando florestas e culturas alimentares, além de eliminar o problema das queimadas, que são fonte de gases poluentes.

PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE

A produção de cana de açúcar, de 1990 a 2008, apresentou um aumento de quase 150%, conforme se observa na tabela 1. Considerando somente o período após o ano de 2000, o crescimento foi de 126%.

Em relação à área plantada e/ou área colhida⁸, entre os anos de 1990 e 2008, o crescimento foi de cerca de 100%, sendo que o segundo período (2000-2008) apresentou um crescimento de 46% (área plantada). Portanto, foi grande o aumento de produtividade no período posterior ao ano 2000, o que significou menor área incorporada à produção de cana.

⁸ Observa-se pequena diferença entre área plantada e área colhida.

Tabela 1 - Evolução da área, produção e produtividade da cana de açúcar no Brasil

Ano	Área (milhões de hectares)		Produção (milhões de t)	Produtividade (t/ha)
	Área Plantada	Área Colhida		
1990	4,29	4,27	262,60	61,49
1995	4,62	4,57	303,56	66,49
2000	4,82	4,82	325,33	67,51
2005	5,62	5,76	419,56	72,83
2006	7,04	6,19	457,98	74,05
2007	7,89	6,69	515,82	77,05
2008	8,92	8,14	648,85	77,52

Fonte: MAPA, 2009.

A produtividade média da cana de açúcar brasileira aumentou nas últimas décadas devido a vários fatores (Portal biodiesel, 2009), como:

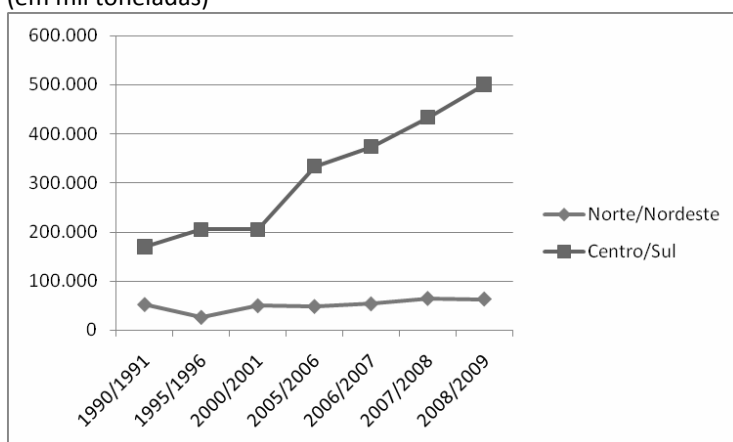
- programa de melhoramento genético através de variedades selecionadas (exemplo: Programa Genoma da Cana).
- tecnologia agrícola (destacando-se o gerenciamento da produção agrícola, com a utilização de solos, usos de imagem de satélite para identificação varietal e aperfeiçoamento de manejo em geral).
- evolução na mecanização da colheita e transporte de maior número de toneladas de cana por viagem o que reduziu o consumo de combustíveis.
- manejo de resíduos agrícolas – aproveitamento do vinhoto e limpeza da cana a seco (evita perdas de 1 a 2 % do açúcar).
- redução da demanda por adubos químicos – valorização do vinhoto como adubo orgânico, rico em fósforo e potássio.

O Gráfico 1 apresenta a diferença no nível de produção entre as regiões Norte/Nordeste e Centro/Sul do país. Levando em conta dados a partir da safra de 1990/1991, evidenciando as últimas cinco safras⁹. A produção de cana nas regiões Centro/Sul tem aumentado a sua participação na produção nacional, que foi de 85% na safra de 2004/2005 chegando a 89% na safra de 2008/2009. O Estado de São Paulo produz sozinho quase 60% da cana no país.

Há um grande salto de produção entre as safras de 2000/2001 e 2008/2009, nas regiões Centro/Sul que passou de 205 milhões de toneladas para exatos 500 milhões de toneladas de cana moída. Cabe ressaltar que a região Nordeste participou em 11% da produção de açúcar do país no ano de 2008, proporção essa que caiu sistematicamente, principalmente a partir da safra de 2000/2001.

⁹ Quando se trata de safra agrícola, o período de cultivo e colheita de um determinado produto está determinado pelo clima e não pelas convenções humanas. O ano-safra na cana-de-açúcar inicia-se em abril e termina em março do ano seguinte. Na região Centro-Sul a safra inicia em abril (início do corte da cana) e vai até dezembro, na região nordeste se inicia em setembro e termina em março do ano seguinte (Bressan Filho, 2008).

(em mil toneladas)



Nota: trata-se de produção de cana moída.

Fonte: MAPA, 2009.

Gráfico 1 - Produção brasileira de cana de açúcar, por região.

O estado do Paraná é o segundo maior produtor de cana de açúcar, no entanto com participação de apenas 8%. O terceiro maior Estado é Minas Gerais com 7% da produção nacional. Os estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais e Espírito Santo mais que dobraram seu nível de produção no período de 1990 a 2007, enquanto o Rio de Janeiro manteve sua produção estável no mesmo período.

Por outro lado os estados do Nordeste como: Pernambuco, Alagoas e Paraíba, tradicionais produtores de cana de açúcar para a indústria açucareira, tiveram queda no nível de produção. Os estados do Rio Grande do Norte, Maranhão, Sergipe e Ceará mantiveram uma produção estável.

ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DE CANA DE AÇÚCAR ATÉ 2019

As estimativas mais recentes para o fechamento da safra 2009/10 indicam que a moagem da cana-de-açúcar no país deve situar-se em torno de 600 milhões de toneladas, sendo 540 milhões processadas na região Centro-Sul e 60 milhões na região norte-nordeste. A União da Indústria de Cana de Açúcar (UNICA) estima que a região Centro-Sul deva processar 590 milhões de toneladas¹⁰ na safra 2010/2011.

As projeções de longo prazo, tendo em vista as recentes mudanças na economia mundial, tornam mais difíceis as estimativas de avanço da cultura de cana nos próximos anos no país. Estimativas de produção e de área colhida, tendo como horizonte a safra de 2018/2019, são de uma produção em torno de 830 milhões de toneladas em uma área de 9,5 milhões de hectares, conforme tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Estimativas da produção de cana de açúcar no Brasil, por safra.

Região	Safra (t)				
	2010/2011	2012/2013	2014/2015	2016/2017	2018/2019
Norte/Nordeste	74.538.302	78.240.369	82.463.184	87.107.490	92.340.091
Centro/Sul	527.946.631	574.494.507	626.410.447	684.168.400	743.232.930
Total	602.484.933	652.734.877	708.873.631	771.275.890	835.573.021

Fonte: Agriannual, 2009.

¹⁰ Observa-se, também, que a maior parte da produção de álcool ainda é realizada pelas usinas que processam tanto o açúcar quanto o álcool (anexas), sendo pequena a produção das unidades que produzem somente álcool (autônomas).

As premissas básicas levadas em conta na estimativa de área plantada e de produção da cana-de-açúcar de longo prazo, elaborada pela CONAB e AgraFNP (Agrianual, 2009), são:

- manutenção do preço alto do petróleo (resultando em mudanças no padrão de consumo do petróleo no país).
- viabilidade técnica e econômica do etanol de segunda geração (uso do bagaço e da palha da cana para a produção de etanol pode aumentar a eficiência produtiva das usinas em até 30%).
- possibilidade de haver concorrência de outras matérias primas ricas em celulose.
- o Estado de São Paulo deve manter o ritmo de crescimento e se consolidam novas fronteiras agrícolas em Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás.

Tabela 3 - Estimativas para área de cana de açúcar colhida no Brasil.

Regiões	Safras (ha)				
	2010/2011	2012/2013	2014/2015	2016/2017	2018/2019
Norte/Nordeste	1.152.365	1.188.454	1.228.391	1.272.856	1.322.660
Centro/Sul	6.313.488	6.756.739	7.243.033	7.777.874	8.308.664
Total	7.465.853	7.945.193	8.471.424	9.050.731	9.631.324

Fonte: Agrianual, 2009.

A crise mundial atual foi um freio no crescimento do setor que se manifestou através do crédito escasso, reduzindo o capital de giro e a capacidade de processar a matéria prima disponível pelas usinas. A expansão da produção de álcool e o setor, como um todo, foi atingido pelas crises de liquidez e preço em um momento de grande expansão. Uma análise do mercado de açúcar evidencia a tendência atual de que a redução no mix do álcool será destinada para o aumento da produção de açúcar.

INCORPORAÇÃO DE NOVAS ÁREAS

Atualmente, para atender à demanda industrial em expansão, a expectativa é de crescimento substancial da produção de cana. O crescimento da demanda¹¹, tanto do açúcar quanto do álcool sugere a necessidade de incorporação de novas áreas. Considerando que a cana utiliza somente 10% da área agrícola atual e que existe uma grande disponibilidade de terras agricultáveis, o grande problema que se apresenta é a concentração espacial em terras de alta fertilidade na região Centro/Sul, principalmente em São Paulo, que também absorve a maioria dos investimentos do agronegócio.

A região do Oeste Paulista reunia uma série de condições para a produção de cana, desde o início do século XX. Com as crises que assolavam os cafezais, a cana de açúcar assumiu peso econômico com a expansão da agroindústria, calcada basicamente para atender o mercado interno, em crescimento tanto pelo aumento populacional, quanto pela migração das pessoas do campo para a cidade. Com o choque do petróleo nas décadas de 1970 e 1980, as linhas de crédito criadas para a ampliação das usinas, e ainda a construção de novas unidades de produção foram quase que diretamente direcionadas para a área (Bonilha, 2007).

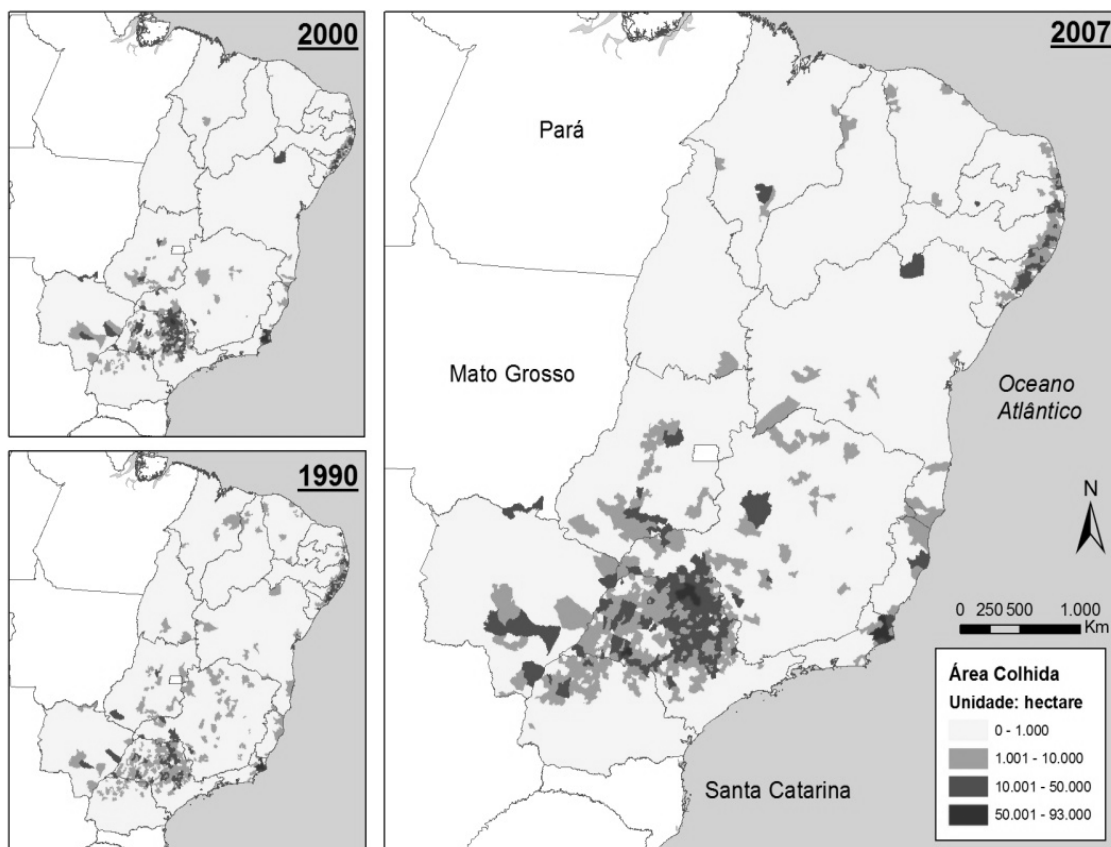
Embora tenham surgido programas que a princípio foram propostos em escala nacional, a expansão do cultivo da cana beneficiou principalmente a região do Oeste Paulista. Essa expansão apresentou alguns momentos de estagnação, mas nos últimos anos vem crescendo vigorosamente. Um fato importante foi a desregulamentação do setor sucroalcooleiro, ou seja, o fim da intervenção pública na década de 1990,

¹¹ A indústria sucroalcooleira é a maior consumidora do volume de cana moído, sendo que 86% é absorvido pelas usinas de açúcar e álcool.

estimulando a ação do setor privado na busca por novos mercados e de formas de comercialização, além do aumento da produtividade (Vieira Junior, P.A. et al, 2007).

O mapa 1 apresenta a incorporação de novas áreas desde 1990 até 2007. Os mapas foram elaborados com dados da área colhida municipal dos principais estados produtores. No período de 1990 a 2007, o estado de São Paulo concentra grande parte da produção nacional. Apresenta-se com destaque na colheita da cana, o litoral nordestino (tradicional produtora de açúcar) e a região de Campos, no estado do Rio de Janeiro.

Mapa 1 - Evolução da área colhida de cana de açúcar – de 1990 a 2007.



Fonte: Elaboração própria. Produção Agrícola Municipal 1990, 2000 e 2007.

Observa-se a consolidação e o adensamento da produção em São Paulo e no avanço sistemático, ao longo dos anos para o Paraná, Mato Grosso do Sul e Goiás. A expansão para a região Centro Oeste deve alertar para as condições que esse processo se dará, no que diz respeito a possíveis pressões sobre os recursos naturais.

MERCADOS PARA A CANA DE AÇÚCAR

O setor sucroalcooleiro opera em dois mercados concorrenciais: o do etanol e do açúcar, que utilizam no Brasil a mesma matéria prima – a cana de açúcar.

O *mix* produtivo (percentual destinado a cada produto) da indústria sucroalcooleira pende para o álcool ou para o açúcar dependendo da conjuntura do mercado. A região centro-sul, maior região produtora e exportadora do país, detém cerca de 90% da produção nacional do etanol e 86% da produção nacional de açúcar.

A tabela 4 mostra o crescimento nas últimas décadas da produção do etanol e do açúcar. A produção de etanol dobrou nas últimas safras posteriores ao ano de 2000, enquanto a produção de açúcar cresceu muito após 1990, mas permaneceu constante nas últimas safras.

Tabela 4 - Produção brasileira de etanol e açúcar.

Produto	Safr						
	1990/1991	1995/1996	2000/2001	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009
Açúcar (t)	7.365.341	12.651.084	16.020.340	26.214.391	30.701.281	31.297.619	31.504.983
Álcool (m ³)	11.515.151	12.716.759	10.517.535	15.806.930	17.931.651	22.445.979	27.674.079

Fonte: MAPA, 2009.

A relação entre produção de cana de açúcar e a produção de açúcar e etanol, evidencia o crescimento da produção do etanol e a manutenção da produção do açúcar nas últimas safras. A tabela 7 mostra que o consumo interno do açúcar é pequeno em relação ao que excede para exportação, enquanto o etanol tem um crescente consumo interno e baixo excedente para exportação.

Tabela 5 - Resumo da safra de 2006/07 e estimativa da safra de 2010/2011.

Destino da Safra	2006/07	2010/011
Produção de cana-de-açúcar (milhões de t)	430	601
Área cultivada (milhões de ha)	6,3	8,5
Açúcar (milhões de t)	30,2	34,6
Consumo interno	9,9	10,5
Excedente para exportação	20,3	24,1
Etanol (milhões de litros)	17,9	29,7
Consumo interno	14,2	23,2
Excedente para exportação	3,7	6,5

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2008/2017 (2009).

O Brasil conta atualmente com cerca de 420 usinas produtoras de açúcar e álcool. Existem no setor sucroalcooleiro 248 usinas que fabricam prioritariamente o açúcar e possuem destilarias anexas que produzem o álcool, 157 usinas que industrializam somente álcool, que são as destilarias independentes e 15 processadoras apenas de açúcar (Congo, 2009).

Mercado do etanol

A comercialização do etanol ainda não tem grande inserção no mercado internacional, sendo o mercado interno ainda o grande consumidor do produto. Ainda não se trata de uma *commodity* e a principal questão em relação ao crescimento do mercado é a diferença entre o preço do etanol e o preço do petróleo.

O mercado interno aquecido pela nova geração de veículos com motores bicombustíveis e pelo aumento da demanda por combustíveis renováveis registrou um impulso na produção a partir do ano 2003. As vendas de automóveis e veículos comerciais leves, modelo bicombustível (*flex-fuel*), somaram 284.448 unidades em março de 2010, o que representa quase 90% do total das vendas no período. O resultado consta do site da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2010). Os dados indicam um avanço em relação ao desempenho de janeiro de 2010, quando as vendas foram de 186.657 unidades e para se ter uma idéia do crescimento, um ano antes - em fevereiro de 2009 - as vendas de carros *flex* foram de 166.812 unidades. O total das vendas desse tipo de veículo desde seu lançamento em março de 2003 até dezembro de 2009, já somou quase 10 milhões de veículos e representam, atualmente, uma proporção de 40% da frota nacional de veículos leves.

O mercado internacional do etanol tem atualmente um cenário negativo devido a atual queda no preço do petróleo e à redução nas exportações para os Estados Unidos. As barreiras internacionais, como tarifas, utilizadas por países como os Estados Unidos para encarecer o álcool brasileiro, protegem a indústria local que utiliza o milho como matéria prima na fabricação do etanol. Por outro lado, o acesso a mercados internacionais tem como requisito básico a existência de padrões mínimos de qualidade do produto, através de normas para a comercialização que ainda não estão disponíveis.

Mercado de açúcar

O comércio de açúcar é mais consolidado e tem maior inserção, tanto no mercado interno como no externo: trata-se de uma *commodity* que pode se beneficiar via cambio/preço, ou seja, um aumento do preço externo do açúcar pode gerar um deslocamento da oferta interna para o mercado externo. Ao mesmo tempo sua demanda é inelástica em relação ao preço e à renda, tendo em vista que o açúcar é um bem essencial e de necessidade básica. O mercado de açúcar internacional apresenta instabilidade de preços ocasionada por conta de formação de estoques (relação estoque/consumo), de especulações e quebra localizada de safra.

O aumento da produção mundial de cana reduziu os preços internacionais do açúcar nos anos de 2007 e 2008. Para o ano de 2009, os fundamentos do mercado de açúcar prevêm uma reversão desse cenário, em função da queda acentuada da produção em diversos países. As previsões apontam déficits mundiais que variam de 4,5 a 9 milhões de toneladas. A importação mundial de açúcar deve aumentar, sinalizando um aumento do mercado externo potencial para o Brasil nos próximos anos. Os principais mercados com potencial para a expansão das exportações brasileiras são: Índia, Paquistão, Dubai, União Européia e México (Jank, 2009).

Atualmente o preço do açúcar no mercado internacional está em alta, tendo em vista o cenário de déficit de produção mundial de açúcar e questões climáticas que mantêm a quebra das duas últimas safras na Índia, que é o segundo produtor mundial e o maior consumidor, onde as monções não têm trazido a umidade necessária para os solos, além do cenário mais recente de excesso de chuvas no Brasil (Fortes, 2009). Dentre as *commodities*, o açúcar tem sofrido a maior volatilidade dos contratos futuros¹², medidas pelas oscilações diárias nos contratos futuros em Nova Iorque (Agroanalysis, 2008c).

Mercado de energia elétrica – co-geração

Além dos mercados de açúcar e do etanol, o setor sucroalcooleiro tem um terceiro mercado que é o de energia elétrica. Trata-se da co-geração de energia elétrica com base na queima do bagaço da cana de açúcar processada, que pode se tornar uma fonte significativa para o mercado de energia, pela possibilidade de gerar excedentes de energia além da necessária para fazer funcionar a própria indústria de açúcar e do álcool. Essas sobras podem vir a ser importante fonte alternativa complementar para a matriz energética do país. Desde a sua implantação e em maior escala nas últimas décadas, muitas vezes face à indisponibilidade de energia e o alto custo, as indústrias sucroalcooleiras têm utilizado a co-geração para produzir simultaneamente energia elétrica e calor.

A energia gerada pela co-geração, excluindo o consumo próprio da usina, geraria um volume muito grande de energia excedente. É grande a quantidade de bagaço produzida, sendo equivalente a 30% da cana moída. De acordo com vários estudos realizados, o potencial de geração de eletricidade a partir de bagaço

¹² O mercado futuro agrícola é uma ferramenta essencial para o produtor que precisa garantir a renda, trata-se de uma opção eficiente do produtor rural se defender das oscilações de preço de seu produto no mercado internacional. A bolsa brasileira de mercado futuro é a BM&F BOVESPA que reúne compradores e vendedores (regulamenta e fiscaliza) diversos contratos de diversas mercadorias com um preço para uma data futura (vencimento futuro) e este compromisso é ajustado diariamente e tem liquidez, pode-se entrar e sair a qualquer momento, havendo total transparência no acompanhamento das cotações.

de cana no Brasil está estimado em aproximadamente 4.000 MW com as tecnologias comercialmente disponíveis (INFOENER, 2009).

Atualmente a co-geração de produtos de cana responde por 16% da oferta interna de energia elétrica conforme se observa na tabela 7. A partir do ano de 2007, a cana passou a ser a segunda fonte na matriz energética do Brasil, superando a energia hidráulica, perdendo somente para a o petróleo e derivados que representa 37 % das fontes usadas no país.

Tabela 6 - Oferta interna de energia – Brasil 2009

Tipo de Energia	2007	2008
	(%)	(%)
Energia não renovável	54,1	54,7
Petróleo e derivados	37,4	36,7
Gás natural	9,3	10,3
Carvão mineral e derivados	6,0	6,2
Urânio e derivados	1,4	1,5
Energia renovável	45,9	45,3
Energia hidráulica e eletricidade	14,9	13,8
Lenha e carvão vegetal	12	11,6
Produtos da cana de açúcar	15,9	16,4
Outros renováveis	3,2	3,5

Fonte: EPE/ MME, Balanço Energético Nacional, 2009.
Resultados preliminares ano base 2008.

A geração adicional de energia elétrica exige altos investimentos além daqueles necessários à finalidade básica da indústria sucroalcooleira e, por isso, ainda não foi feita na maioria das usinas. Atualmente já existem usinas modernas com melhor aproveitamento do bagaço, enquanto ainda subsistem usinas antigas com tecnologia pouco eficiente. O preço dessa energia depende das distribuidoras e dos investimentos necessários para a comercialização¹³. Ao mesmo tempo a garantia de venda da energia elétrica pelas usinas a um preço apropriado é o maior entrave que dificulta a implantação de utilização eficiente desse potencial de geração de energia (Machado, 2002).

Fica claro o potencial da co-geração de energia, quando se leva em conta as dificuldades do setor sucroalcooleiro em comercializar a energia gerada. Falta somente que o governo estipule regras de comercialização para a maior segurança dos investimentos do setor sucroalcooleiro.

DO PROÁLCOOL AOS CARROS FLEX

O Programa Nacional do Álcool - PROALCOOL foi criado pelo Governo Federal com o objetivo de amenizar o problema energético nacional, com o primeiro choque do petróleo em 1975, reduzindo a importação do combustível fóssil. Foi o primeiro e maior programa comercial de utilização de biomassa para produção de energia no mundo e representou iniciativa de maior sucesso na substituição dos derivados de petróleo no setor automotivo, a partir do uso de álcool como único combustível nos veículos movidos a álcool hidratado.

¹³ Exemplificando: no ano de 2008, das 343 usinas instaladas no país até então, foram gerados 3.079 MW por hora, equivalente a produção de uma grande usina hidroelétrica, no entanto somente 508 MW foram oferecidos a rede de distribuição elétrica (Agroanalysis, 2008a).

Até o final da década de 80, o governo manteve a continuidade do programa de produção de álcool nas unidades açucareiras e destilarias independentes, também através de financiamentos e de uma rede de distribuição do combustível. No entanto, essa tutela administrativa da produção, exportação e preços pelo Estado, por muitas décadas não estimulou a competição entre as unidades produtivas e entre as distribuidoras. Na década de 90 o governo reduziu os incentivos à produção e a baixa do preço do petróleo fez com que a gasolina recuperasse espaço no mercado automotivo. Ainda na década de 90 houve a introdução do gás natural no mercado de combustíveis automotivos, incentivado pelos preços baixos do gás boliviano.

No entanto, somente a partir de 2003, com o surgimento dos veículos tipo *flex-fuel* o mercado de etanol sofreu uma forte recuperação, que tem mostrado alto potencial de crescimento. A participação do Estado, atualmente, se concentra no monitoramento da qualidade do combustível, na arrecadação fiscal e nos percentuais de mistura do álcool anidro na gasolina (Maistro, 2008). O sucesso dos carros *flex* e o preço bastante competitivo do álcool em relação à gasolina fizeram com que o ano de 2008 passasse a ser considerado um marco para a indústria sucroalcooleira no Brasil, pois o volume de álcool comercializado foi, pela primeira vez, maior do que o da gasolina, segundo dados do Ministério de Minas e Energia (Congo, 2009).

Biodiesel

O biodiesel é um combustível limpo que não produz gases poluentes, como aqueles emitidos pelo equivalente combustível originado do petróleo. Na busca por novas alternativas de energia, o biodiesel é um combustível biodegradável, oriundo de oleaginosas e de gorduras animais. O biodiesel é perfeito substituto para o óleo diesel de petróleo em motores de veículos – caminhões, tratores e automóveis e também em motores geradores de eletricidade.

Desde a década de 70 existiam pesquisas relativas à adoção de óleos vegetais como combustível no país, sendo que o Brasil passou a deter o processo de produção através do registro de patente¹⁴ para produção de biodiesel e querosene vegetal de aviação. No entanto, apesar da viabilidade técnica, as tentativas para o desenvolvimento do mercado para o produto não se concretizaram, tendo em vista os elevados custos de produção do biodiesel em relação ao óleo diesel.

A introdução do biodiesel na matriz energética brasileira somente no início da década atual, se deveu a elevação dos preços do óleo diesel tradicional e no interesse do governo em reduzir sua importação, tendo sido regulamentada através do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel¹⁵ - PNPB, lançado em dezembro de 2004.

DIVERSIDADE DE MATÉRIAS PRIMA PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Existe no Brasil uma grande variedade de oleaginosas que podem ser destinadas a produção de biodiesel. As principais oleaginosas utilizadas na produção do biodiesel no país são: a soja, o algodão, a mamona, o

¹⁴ Registro de patente do engenheiro químico Expedito Parente, concedida em 1977, atualmente já de domínio público.

¹⁵ O PNPB é um programa interministerial do governo federal criado com o objetivo de promover o biodiesel como uma alternativa energética sustentável, sob os aspectos técnicos, econômicos e ambientais, promovendo a inclusão social, preços competitivos e o estímulo a produção regional de oleaginosas. Através da Lei Federal 11.097 de 13 de janeiro de 2005, o governo estabeleceu os percentuais mínimos de mistura e escalonou a introdução no mercado nacional. Em uma primeira fase, até o ano de 2007, seria voluntária a adição de um percentual mínimo de 2% de biodiesel ao óleo diesel comercializado em qualquer parte do território nacional. Na segunda fase o objetivo será assegurar a normalidade do suprimento de biodiesel com o início da mistura obrigatória de 2% ao óleo diesel. A partir do ano de 2008, a lei tornou obrigatória, em escala nacional, a adição de 2% de biodiesel (B2) no diesel mineral que deveria atingir 5% até 2013. A disponibilidade do produto fez com que o Conselho Nacional de Política Energética – CNPE antecipasse o aumento dessa mistura da seguinte forma: julho de 2008: 3,0% (B3); julho de 2009: 4,0% (B4) e janeiro de 2010: 5,0% (B5). Preferencialmente a matéria prima deve ser oriunda de agricultura familiar, inclusive as resultantes de atividade extrativista (PNPB, 2006).

pinhão-manso e o amendoim. Também são usados no processo, mas em pequena escala, o dendê e o girassol, existindo outras oleaginosas com potencial como o babaçu, a canola, o gergelim e o nabo. O Brasil é um dos países no mundo com mais condições propícias ao cultivo desses produtos agrícolas, indicando o país como um dos grandes fornecedores de matérias primas para a industrialização de biodiesel.

O Quadro 2 apresenta informações técnicas como produtividade e teor médio de óleo das oleaginosas utilizadas na produção de biodiesel.

Quadro 2 - Informações técnicas das oleaginosas produtoras de biodiesel

Espécie	Teor de óleo (%)	Produtividade (kg/ha ano)	Produção de óleo (kg/ha ano)	Ciclo
Amendoim	49	1.800	882	120-180 dias
Babaçu	4	15.000	600	12 meses
Canola	38	1.800	684	130-140 dias
Algodão	15	1.800	270	160 dias
Dendê	20	10.000	2.000	12 meses
Gergelim	39	1.000	390	120-180 dias
Girassol	42	1.600	672	90-140 dias
Mamona	44	1.500	660	100-300 dias
Nabo	29	500	145	100 a 120 dias
Pinhão-manso	40	8.000	3.200	perene
Soja	19	2.200	418	120 dias

Fonte: Abdalla *et al*, 2008.

Observa-se que o dendê, o pinhão-manso e o babaçu destacam-se em relação ao volume de óleo produzido por hectare. Nas culturas de mamona, girassol, amendoim e pinhão-manso se encontram os maiores teores de óleo, enquanto a maior produtividade se encontra no babaçu, dendê e pinhão-manso. Observa-se que o dendê é uma cultura permanente com uma alta produtividade assim como o babaçu. Ressalta-se, no entanto, que a tecnologia para extração do óleo (mundialmente conhecido como óleo de palma) é pouco desenvolvida (o problema da produção do dendê – palma africana – não é na fase industrial e sim na fase agrícola, porque necessita de muita mão-de-obra no manejo e na colheita. Além disso, somente se desenvolve satisfatoriamente em clima equatorial (em geral, na linha do equador). No recôncavo baiano temos um clima similar ao equatorial (muita umidade e sol) e a produção do famoso óleo de dendê, que é comercializado sem refino e no país apenas a região Norte é propícia economicamente ao seu cultivo.

SOJA: A MATÉRIA PRIMA MAIS UTILIZADA NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

A soja é o principal grão produzido no Brasil e ocupa a maior área de cultivo. No mundo, 60% da matéria prima utilizada na produção do biodiesel é proveniente da soja (Agrianual, 2009). É um grão rico em proteína, cultivado como alimento, tanto para humanos como para animais (ração). Os produtos derivados da soja incluem óleos, farinha, sabão, cosméticos, resinas, tintas, solventes e biodiesel.

A soja é a matéria prima mais usada para a produção de biodiesel também no Brasil, respondendo a cerca de 80% da produção no país¹⁶, isso tendo em vista que já existia uma estrutura agrícola previamente desenvolvida. A concentração da soja na produção de biodiesel ocorre por fatores como (Dall’Agnol, 2007):

- tecnologia de produção bem definidas e modernas.
- ampla rede de pesquisas já consolidada.
- cultivo tradicional e bem adaptado aos solos.

¹⁶ No Brasil a soja corresponde a 80% da produção de biodiesel nas usinas, com os demais 15% provenientes de gorduras animais e os 5% restantes são obtidos das demais oleaginosas.

- rápido retorno do investimento com ciclos de safras de 4 a 5 meses.
- possibilidade de armazenagem por longo tempo.
- o bom desempenho do biodiesel nacional tem sido estimulado pelos bons preços no mercado e pelo aumento da demanda nacional e internacional.

O Brasil é o segundo maior produtor no mercado internacional, estando os Estados Unidos ainda na liderança da produção mundial. Atualmente o consumo mundial cresce em ritmo superior ao da produção, resultando em diminuição de estoques e aumento de preço da *commodity* (Agriannual, 2009).

A cultura de soja é produzida em grande escala no Brasil e bastante espalhada nos principais estados produtores. O óleo de soja, entre os óleos vegetais disponíveis no Brasil, é o que atende ao processo de industrialização do biodiesel, pois tem escala de produção para aumentar rapidamente a oferta, mesmo considerando que outras oleaginosas apresentam maior rendimento.

PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL

O biodiesel fabricado a partir do óleo vegetal extraído das oleaginosas pode ser obtido por meio de diferentes processos de industrialização, sendo o mais usado o processo químico de transesterificação¹⁷ nas instalações produtoras de biodiesel autorizadas, que segundo LEIRAS (2006):

“consiste na reação química de um óleo vegetal com um álcool na presença de um catalisador, usualmente hidróxido de sódio ou de potássio. Como resultado, obtém-se ácidos graxos, glicerina e biodiesel (éster metílico ou etílico, conforme o álcool utilizado - metanol ou etanol, respectivamente). A glicerina é um co-produto de alto valor que deve ser considerado na análise econômica da cadeia do biodiesel”.

No processo, cada 100 quilos de óleo reagem com 10 quilos de álcool, o que gera 100 quilos de biodiesel e 10 quilos de glicerina (Valor Econômico, 2007).

O processo de beneficiamento da soja, incia-se com o esmagamento, no qual basicamente se separa o óleo bruto (aproximadamente 20% do conteúdo do grão) do farelo de soja (80%) utilizado largamente como ração animal. O óleo bruto passa por um processo de refino até assumir propriedades ideais ao consumo como óleo comestível.

PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE

É notória a capacidade da produção de soja responder ao aumento da demanda de biodiesel em curto prazo. No entanto, observa-se também que a sua escala de produção inviabiliza sua produção pela agricultura familiar¹⁸. O cultivo de soja não favorece a absorção de mão de obra familiar, tendo em vista a predominância de lavouras empresariais na sua produção.

A produção do ano de 2009 indica uma área plantada/colhida de 21 milhões de hectares, enquanto a produção de soja foi de 59 milhões de toneladas. Considerando o crescimento de 81% da área plantada desde 1990 até 2008, encontramos um crescimento da produção de quase 200%.

O aumento da produtividade 1,73 t/ha em 1990 para 2,81 t/ha em 2008 é o resultado de um nível de conhecimento tecnológico que faz a cultura da soja altamente competitiva, conforme se observa na tabela 7.

¹⁷ Destaca-se ainda a existência dos processos de craqueamento (decomposição térmica) e de esterificação (formação de um éster), que, no entanto, não são largamente utilizados.

¹⁸ Trata-se de premissa básica do PNPB promover a inclusão social e estimular a produção regional de oleaginosas.

Tabela 7 - Evolução da produção, área plantada e produtividade da soja no Brasil.

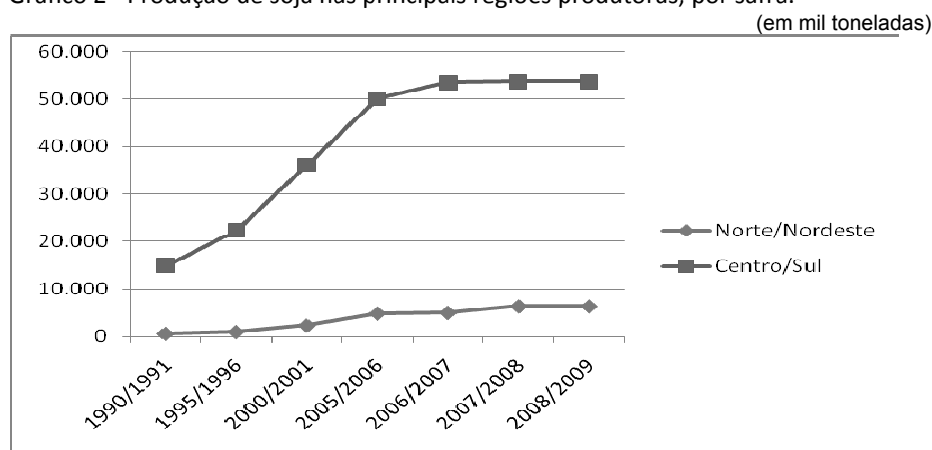
Ano	Área (milhões de hectares)		Produção (milhões de t)	Produtividade (t/ha)
	Plantada	Colhida		
1990	11,6	11,5	19,9	1,73
1995	11,7	11,7	25,7	2,20
2000	13,7	13,7	32,3	2,40
2005	23,4	23,0	51,1	2,23
2006	22,1	22,0	52,5	2,38
2007	20,6	20,6	57,9	2,81
2008	21,1	21,1	59,2	2,81

Fonte: IBGE, Pesquisa Agrícola Municipal 1990, 1995, 2000, 2005, 2006, 2007 e 2008.

Os principais estados cultivadores de soja são os de Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás e Mato Grosso do Sul. Na atualidade o Mato Grosso se destaca como o maior produtor de grãos de soja, porém esta posição em 1990 era ainda ocupada pelo Rio Grande do Sul. Destaca-se que com o incremento de novas tecnologias como a introdução de sementes selecionadas mais resistentes ao calor e à menor disponibilidade de água, além de técnicas como a correção dos solos pobres do cerrado e a irrigação dos cultivos, com água oriunda de lençóis e poços subterrâneos, processo esses possíveis devido ao alto valor de venda da soja no mercado internacional.

O Gráfico 2 mostra as principais regiões produtoras de soja, evidenciando a predominância da região Centro/Sul que tem cerca de 90% do total da produção no país. Observa-se uma estabilização no crescimento dessa região nos últimos cinco anos, diferente do período de 1990 a 2006. No entanto, os maiores crescimentos percentuais em área plantada nas últimas safras foram na região Nordeste – no oeste baiano e na região de fronteira dos estados de Tocantins, Piauí e Maranhão (Agrifinal, 2009). O potencial de crescimento da produção de soja nessa região, que tem solo e clima favoráveis, é aumentado pela facilidade de escoamento da produção.

Gráfico 2 - Produção de soja nas principais regiões produtoras, por safra.



Fonte: MAPA, 2009.

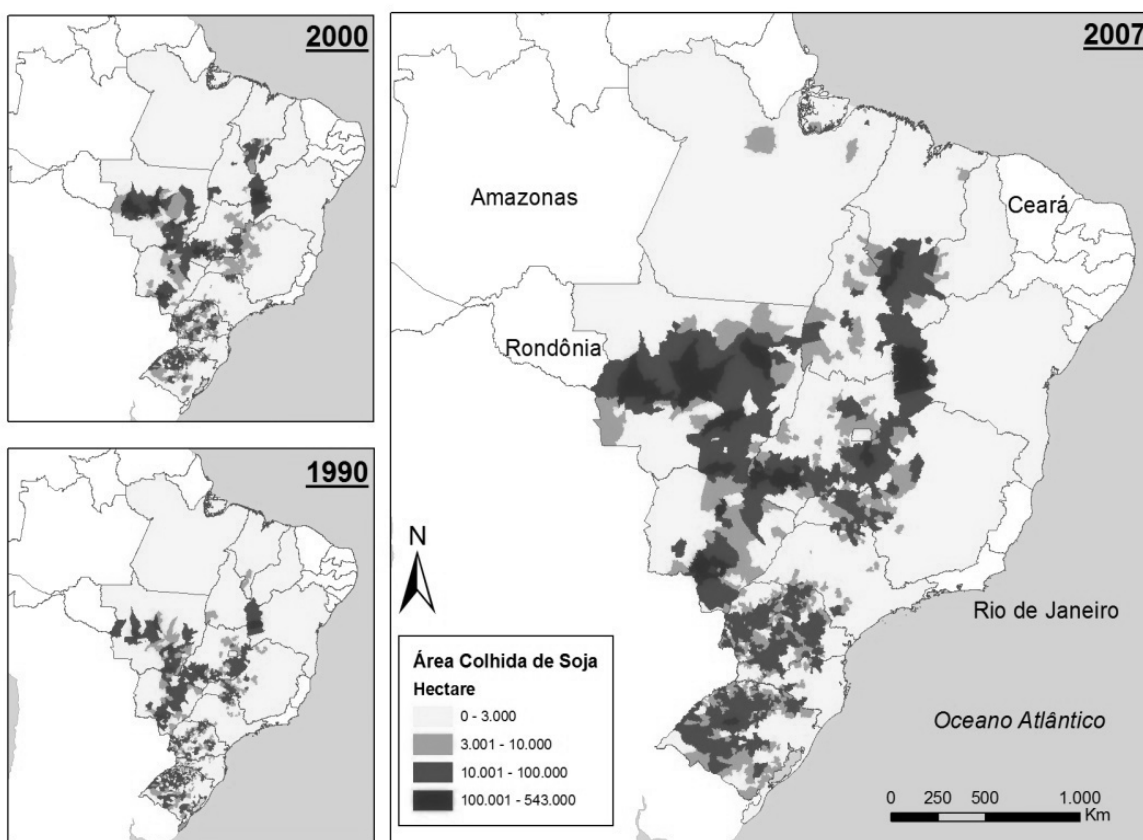
INCORPORAÇÃO DE NOVAS ÁREAS

Data do fim do século XIX a introdução da cultura da soja no Brasil, que a época era cultivada com fins de cultura forrageira, eventualmente produzida para alimentação de animais. Inicialmente o estado de São Paulo foi o pioneiro na agricultura da soja, mas foi no Rio Grande do Sul que houve o desenvolvimento da cultura, devido às condições climáticas mais favoráveis, similares a da região sul dos EUA, que cedeu as primeiras sementes para o Brasil. Em meados dos anos 1950 era a melhor alternativa no verão para suceder o plantio de trigo cultivado no inverno (Embrapa, 2004).

Os primeiros registros de cultivo ocorrem na década de 1910 e somente a partir dos anos de 1940 a soja adquire alguma relevância econômica. Somente na década de 1960 a soja se estabelece como cultura de importância econômica no Brasil. Em 1970 se consolida como principal cultivo agrícola voltado para exportação, com produção centrada basicamente na Região Sul.

O Mapa 2 mostra o crescimento da área colhida de soja desde 1990 até 2007. Observa-se que a Região Centro-Oeste se consolida como principal produtora, sobretudo o estado do Mato Grosso, graças às novas tecnologias aplicadas no campo. Observa-se o adensamento da produção em todos os estados produtores e principalmente no Mato Grosso, no oeste baiano e na região de fronteira dos estados de Tocantins, Piauí e Maranhão.

Mapa 2 - Evolução da área colhida de soja – de 1990 a 2007.



Fonte: Elaboração própria. Produção Agrícola Municipal 1990, (2000 e 2007).

Mercado da soja

A soja também produz farelo e óleo e enquanto a produção do grão cresceu cerca de 20% nas últimas safras e, em face do grande volume de exportação do produto *in natura*, a produção de farelo e de óleo cresceu por volta de 10%. O consumo interno tanto do farelo (39%) quanto do óleo de soja (36%) cresceram mais que o consumo interno do grão (12%), conforme se observa na Tabela 8 a seguir:

Tabela 8 - Produção e consumo interno de soja, farelo e óleo.

Safrá	Soja (t)					
	Produção			Consumo interno		
	Soja	Farelo de soja	Óleo de soja	Soja	Farelo de soja	Óleo de soja
2003/04	49.988.900	22.673.000	5.510.400	31.090.000	8.500.000	3.101.000
2004/05	52.304.600	23.127.000	5.692.800	32.025.000	9.100.000	3.050.000
2005/06	55.027.100	21.918.000	5.479.500	30.383.000	9.780.000	3.150.000
2006/07	58.391.800	23.947.000	5.909.000	33.550.000	11.050.000	3.550.000
2007/08	60.051.600	24.948.000	6.156.000	35.050.000	11.800.000	4.100.000

Nota: até julho de 2008 para cana de açúcar e setembro de 2008 para soja.

Fonte: Agriannual, 2009.

O principal destino das exportações do grão produzido no Brasil é a China, com pouco mais de 50% do total exportado, o equivalente a aproximadamente 9 milhões de toneladas e o restante é comprado por vários países europeus, destacando-se os Países Baixos, a Espanha, a Itália e a Alemanha. Os principais países produtores de soja no mundo são os Estados Unidos, o Brasil e a Argentina, que juntos produzem 80% da produção mundial, consumindo 50% da sua produção e exportando o excedente, ressaltando, porém que o Brasil é o maior exportador mundial (Agriannual, 2009).

A exportação do grão cresceu em 38%, enquanto a exportação de farelo e do óleo de soja diminuiu no período, significando que o mercado interno tem absorvido a produção diminuindo o excedente exportado. A importação de soja é insignificante, não correspondendo a 0,5% do consumo nacional e que apenas 5% da produção é destinada ao estoque, ressaltando a posição dessa *commodity* no Brasil (Tabela 9).

Tabela 9 - Exportação de soja, farelo e óleo.

Safrá	Soja (t)		
	Soja	Farelo de soja	Óleo de soja
2003/04	19.247.700	14.485.600	2.517.200
2004/05	22.435.100	14.421.700	2.697.100
2005/06	24.957.900	12.332.400	2.419.400
2006/07	23.733.800	12.498.100	2.342.500
2007/08*	25.750.000	13.200.000	2.120.000

Nota: até setembro de 2008.

Fonte: Agriannual, 2009.

O complexo soja (grão, farelo, óleo) é líder nas exportações do agronegócio brasileiro.

Os preços da *commodity* são formados na bolsa de Futuro de Chicago, pois as empresas americanas participam em 90% da comercialização global da soja, exercendo papel importante na formação do preço mundial. Para o ano de 2008, o preço da tonelada de soja no Brasil chegou a R\$ 568,49, o menor preço das últimas dez safras. Tal fato pode estar associado ao enorme aumento da produção que dobrou no mesmo período, passando de 30 para 60 milhões de toneladas. A mesma tendência de aumento de produção e queda do preço foi verificada para o farelo e o óleo de soja (Agriannual, 2009).

Apesar da obrigatoriedade de adição do biodiesel, fato que ocasionou a abertura de usinas produtoras de biodiesel e de postos revendedores, a logística de distribuição ainda encontra fragilidades. Por outro lado, também a disponibilidade da matéria prima é o grande entrave para a produção do biodiesel. Levando-se em conta que a ampliação da porcentagem da mistura de biodiesel ao diesel para 3% significou a necessidade de uma produção anual de 1,26 bilhões de litros do combustível, constata-se que a produção de biodiesel foi de somente 400 milhões de litros em 2007 (Agroanalysis, 2008d).

Do PNPB até hoje

A legislação específica sobre o biodiesel e as diretrizes do PNPB têm como premissa básica atender aos aspectos socioeconômicos dessa atividade. Além de promover a redução da importação de petróleo, a criação de oportunidades de exportação e o desenvolvimento tecnológico, pretende também abordar os aspectos ambientais (desenvolvimento de energia renovável e a redução da emissão de gases estufa) e os aspectos sociais, estimulando a agricultura familiar e a redução das desigualdades regionais.

Como medidas para estimular a inclusão social, através da agricultura na cadeia produtiva do biodiesel, o governo lançou o programa Selo Combustível Social¹⁹. No ano de 2005 foram lançadas duas Instruções Normativas (n.º 1 e 2), nas quais o enquadramento social de projetos e empresas permite o acesso a financiamentos do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) e de outras instituições financeiras e também a redução de alguns tributos. Para tal, as empresas dessa cadeia produtiva precisam dar garantias de compra da produção agrícola por preços pré-estabelecidos, trazendo segurança ao produtor. Os agricultores também são contemplados com facilidade de empréstimo junto a bancos integrantes do programa (PNPB, 2009).

A definição das matérias primas básicas do biodiesel é de importância crucial para o PNPB. As pesquisas e a experiência²⁰ já acumulada trouxeram avanços que podem mudar o setor e concluir que a melhor política é explorar as múltiplas opções adequadas a cada situação além de revelar um grande potencial na geração de empregos. O PNPB tem apresentado um resultado bastante positivo e hoje o Brasil já é um dos maiores produtores e consumidores do mundo de biodiesel.

Considerações finais

O grande desafio do Brasil é consolidar a liderança na utilização da bioenergia como combustível automotivo. Enquanto no resto do mundo procuram-se alternativas para reduzir a dependência do petróleo, o país está ainda em posição privilegiada, tendo em vista a experiência e as alternativas apresentadas à matriz de combustíveis nos últimos 40 anos.

Nesse período o Brasil apresentou marchas e contra marchas na substituição de etanol e diesel por gasolina. O atual sucesso do carro flex é fruto dessa experiência adquirida desde a década de 70, com o lançamento do PROÁLCOOL, que incentivou o uso do álcool anidro misturado à gasolina até surgimento dos veículos flex em 2003. Por outro lado, o biodiesel para se tornar competitivo em relação ao diesel mineral requer ainda muito investimento em pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Mas pode-se afirmar que o mesmo potencial apresentado pelo etanol se vislumbra para a produção do biodiesel no Brasil.

Referências bibliográficas

- ABDALLA, A.L.; SILVA FILHO, J.C; GODOI, A. R; CARMO, C.A.; EDUARDO, J. L. P. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. Revista Brasileira de Zootecnia, vol. 37, Viçosa, 2008.
- AGRIANUAL. Anuário da Agricultura Brasileira. Agra FNP Pesquisas Ltda, São Paulo, 2009.
- AGROANALYSIS. Caminho de Recordes: cadeia sucroalcooleira I. v. 28 n.º3. Fundação Getúlio Vargas – FGV. Rio de Janeiro, 2008a.

¹⁹ No âmbito do Selo Combustível Social, programa destinado à geração de emprego e renda para agricultores familiares a expectativa ainda na safra de 2008 era de atender a 100.000 famílias, gerando 200.000 postos de trabalho (MME, 2009).

²⁰ A ênfase na produção da mamona oriunda da agricultura familiar tem sido revista após algumas iniciativas que malograram para que se reconhecesse o real valor do óleo de mamona, que não é uma boa matéria prima para o biodiesel (Agrianual, 2009).

- AGROANALYSIS. Pesquisa Agrícola: os novos investimentos e o futuro da agricultura tropical, Caderno
- AGROANALYSIS. Açúcar e álcool: produção em crescimento. v. 28 n 4. Fundação Getúlio Vargas - FGV. Rio de Janeiro, 2008c.
- AGROANALYSIS. Biodiesel: Linha Vermelha. 28 nº 5. Fundação Getúlio Vargas - FGV. Rio de Janeiro, 2008d.
- ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Estatísticas: autoveículos – vendas internas em 2010. Disponível no site <http://anfavea.com.br>, 2010.
- CONGO C. Agroeconomica, Informações do mercado de cana, açúcar e álcool. Disponível no site <http://www.deere.com.br>, acesso em 27 de julho de 2009.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (Resultados preliminares ano base 2008). Empresa de Pesquisa Energética – EPE; Ministério de Minas e Energia – MME, Brasília, 2009.
- BONILHA, Ronam Papotti. Queima da palha da cana de açúcar: questões jurídicas e sócio-econômicas. Faculdade de Direito de Presidente Prudente – Monografia. Presidente Prudente - São Paulo, 2007.
- BRESSAN FILHO, A. O etanol como um novo combustível universal, Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, Brasília, 2009.
- DALL'AGNOL, A. (2007). Por que fazemos biodiesel de soja. Disponível no site www.biodieselbr.com/colunistas/convidado/porque-fazemos-biodiesel-de-soja.htm na data de 03/03/2010.
- EMBRAPA, (2004). A Soja no Brasil. Tecnologias da Produção de Soja na Região Central do Brasil. Embrapa Soja, Sistema de Produção n. 1.
- FLORIANI, C. G. Utilização da Terra: Brasil. Agroanalysis, Vol. 28, n. 5. Fundação Getúlio Vargas – FGV. Rio de Janeiro, 2008.
- FORTES, G. Preço do açúcar anima cadeia da cana. Folha *on line* no site <http://www1.folha.uol.com.br>, acessado em agosto de 2009.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Agrícola Municipal 1990, 1995, 2000, 2005, 2006, 2007 e 2008, disponível no site www.sidra.ibge.gov.br.
- JANK, M. S., Rodrigues A. P. Estimativa de safra 2009/2010: coletiva de imprensa. 2009. Disponível no site www.unica.com.br acesso em 23 de julho de 2009.
- LEIRAS, A. A cadeia produtiva do biodiesel: Uma avaliação econômica do caso da Bahia. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2006.
- MACHADO, R.C., LIMA, M.H.R. Co-geração na produção de alumina no Brasil, 10º Seminário de Metais Não-Ferrosos, São Paulo, março de 2002.
- MAISTRO M. C M., BRAGATO, I. R., Expectativas e fatos. Agroanalysis, v. 28, n.3. Fundação Getúlio Vargas – FGV. Rio de Janeiro, 2008,
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anuário Estatístico da Agroenergia. Brasília, 2009.
- PLANO DECENAL DE EXPANSÃO ENERGÉTICA 2008/2017, MME, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética – EPE. v.2, Brasília, 2009.
- PNPB, Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, 2006. Disponível no site www.biodiesel.gov.br/programa, acessado em diversas datas.
- PORTAL BIODIESEL, Proálcool: aspectos econômicos, 2009. Disponível no site www.biodieselbr.com, acesso em 21/9/2009.
- VALOR ECONÔMICO, Análise Setorial: Biocombustíveis, São Paulo, 2007

VIEIRA JUNIOR, P. A., BUAIANAIN A. M., VIEIRA, A. C. P, LIMA F., JARDIM, A produção brasileira de cana de açúcar e o deslocamento da fronteira agrícola do estado do Mato Grosso, Instituto de Economia, Campinas, 2007.

INFOENER – Sistema de Informações Energéticas. Cana de açúcar no Brasil. Disponível no site http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_cana.asp. acesso em 17 de agosto de 2009.

O USO DA BIOMASSA COMO NOVA FONTE ENERGÉTICA MUNDIAL

ÂNGELO BRESSAN FILHO¹

A questão energética mundial e os biocombustíveis

A disponibilidade de energia para consumo diário é em qualquer parte do mundo, um fator fundamental para a qualidade de vida de seus cidadãos. O carvão mineral, o gás natural e o petróleo têm sido as principais matérias-primas para a geração energética e, por seus preços e facilidade de exploração e transporte, têm assegurado, por décadas, o suprimento de fontes energéticas em todos os países. Todavia, em face dos severos problemas ambientais que o uso desses produtos de origem fóssil têm ocasionado e dos elevados preços praticados nos últimos anos, existe atualmente, em nível mundial, uma intensa busca de fontes alternativas que permitam realizar no longo prazo e com limitados impactos econômicos, a transição da era dos combustíveis fósseis para uma nova era de fontes de energia mais limpas e renováveis. Os combustíveis derivados da biomassa têm despertado grande interesse por serem renováveis, e, além disso, neutros ou superavitários na emissão de dióxido de carbono por não impactarem o meio ambiente.

Se observarmos as três principais formas de uso de energia que estão presentes no cotidiano das pessoas e organizações sociais, podemos distinguir, dentro dos padrões tecnológicos atuais, quais as fontes alternativas podem utilizadas para sua substituição.

ELETRICIDADE

A principal fonte atual de geração elétrica em nível mundial é o carvão mineral. A geração de energia elétrica, com grande intensidade e com custos razoáveis, a partir de fontes alternativas, pode ser realizada com baixo efeito ambiental, como é o caso da energia hidráulica e eólica. Pode também ser gerada a partir de fontes não renováveis, como o gás natural e a energia nuclear, porém com impacto ambiental de muito menor intensidade que os efeitos decorrentes do uso do petróleo e do carvão mineral. No caso da geração de energia elétrica com uso de fontes da biomassa, o interesse tem sido limitado em face da dificuldade de obtenção de matérias-primas em grandes quantidades com custo econômico, social e ambiental aceitáveis. A exceção disponível está na utilização do bagaço da cana, resíduo sólido remanescente do processo de moagem dessa gramínea.

GERAÇÃO DE CALOR PARA USO NA COZINHA DOMÉSTICA²

O produto mais comum, de fácil acesso e relativamente baixo custo é o gás liquefeito de petróleo (GLP). Em muitos países, particularmente aqueles de baixo nível de desenvolvimento, esta opção não está disponível e, em muitos deles, se é utilizada a lenha oriunda da vegetação natural para a geração de calor para cozimento de alimentos, com forte efeito de destruição ambiental. Em alguns outros são utilizados demais derivados do petróleo, como o querosene.

Uma das soluções aventadas neste caso, a partir de fontes derivadas da biomassa, está no uso de um tipo especial de álcool etílico (álcool de tipo gelatinoso), que por sua baixa volatilidade pode ser usado em pequenos queimadores domésticos, com baixo risco. Outra solução plausível está no cultivo de árvores madeireiras de ciclo rápido (como o eucalipto) que pode oferecer lenha para fogões convencionais. Ambas as soluções têm baixo impacto ambiental e podem ser produzidos com baixo custo econômico. O Brasil tem conhecimento e tradição em ambos estes produtos e pode ser referência nesta área.

¹ M.Sc. Universidade de São Paulo (USP). Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). E-mail: angelo.bressan@conab.gov.br

² Outro uso importante está no aquecimento de ambientes que, normalmente, é um assunto de países frios e, quase sempre, ricos.

FONTES PARA PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS PARA USO EM MOTORES

No nível atual de desenvolvimento tecnológico, todos os motores de combustão interna, de ignição por compressão (ciclo diesel) ou por centelha (ciclo otto), estão desenhados para utilizar combustível líquido fabricado a partir do petróleo. No primeiro caso o combustível corrente é o óleo diesel mineral, usado em motores estacionários e veículos pesados para transporte de carga e transporte coletivo de pessoas e, no segundo, a gasolina, usada para transporte, especialmente em veículos leves de uso pessoal e familiar. O consumo mundial desses produtos está em níveis bastante elevados, e o total está próximo de 2,5 trilhões de litros, por ano.

Nestas circunstâncias, a única possibilidade de substituição ou complementação desses produtos de origem fóssil está na produção de sucedâneos que tenham características físico-químicas semelhantes ao produto original. As experiências conhecidas indicam que os combustíveis líquidos derivados da biomassa, como o álcool etílico (fabricado a partir de açúcar ou amido) e o biodiesel (fabricado a partir de óleos vegetais ou gordura animal), são as únicas alternativas viáveis para promover a substituição e a redução do consumo dos combustíveis originais, mesmo que em pequena escala. É importante mencionar que o melhor caminho para iniciar o uso dos combustíveis alternativos está na mistura, em proporções módicas, ao combustível original. A substituição completa ou o uso de misturas em proporções elevadas requerem mudanças na regulagem dos motores e/ou alterações em outros componentes do veículo e não são recomendadas para países que estejam iniciando este tipo de programa.

A questão relevante está em desenhar programas que sejam capazes de produzir grandes volumes e com custos de produção razoáveis. No caso do álcool combustível, o Brasil, por sua longa e consolidada experiência no assunto tem liderado a discussão em vários fóruns internacionais e realizado um grande número de acordo com outros países buscando disseminar as qualidades desse novo combustível.

O etanol como um novo produto para o mundo

Até recentemente, o álcool etílico ou etanol para uso como combustível em veículos automotores era uma prerrogativa apenas para brasileiros. Com exceção de algumas experiências isoladas (como a experiência americana com o veículo 'flex-fuel'), a imensa maioria dos motoristas dos demais países do mundo não tinha qualquer informação sobre este produto a tampouco acesso a seu uso.

A partir de 2003, com a ocorrência de alguns fatos de caráter mundial - a invasão do Iraque pelos EUA, que suscitou a questão estratégica da dependência do petróleo; as conseqüências do furacão Katrina, em agosto de 2005, na região sul dos EUA, que revelaram, de forma contundente, a face ameaçadora do aquecimento do planeta provocado pelos gases que dão origem ao efeito estufa (em especial, o dióxido de carbono emitido pela atividade humana, particularmente através da queima de derivados de petróleo); e o início da escalada de preços do petróleo, os quais quintuplicaram no último quinquênio - o álcool etílico combustível (etanol) que era uma exclusividade brasileira, passou a ser assunto de discussão de um enorme contingente de países em todo o mundo.

O Brasil, não apenas por ser o detentor de uma consolidada tradição na produção, distribuição e uso, direto ou misturado na gasolina, de álcool etílico anidro e hidratado, como também por dispor de excelentes condições para aumentar rapidamente e em grandes proporções a fabricação desse produto e para se tornar o grande supridor mundial para outros países interessados, transformou-se em referência internacional nas discussões sobre a matéria.

Simultaneamente a esses acontecimentos, porém sem qualquer relação direta com os mesmos, as montadoras brasileiras iniciaram a fabricação dos veículos do tipo *flex-fuel* que podem utilizar gasolina, etanol hidratado, ou qualquer mistura de ambos como combustível. Esse novo tipo de veículo surgiu como uma alternativa ao movido com 100,0% de álcool etílico hidratado e ajudou a superar a dúvida sobre o futuro do etanol como combustível automotor que, no início desta década, tinha sua sobrevivência ameaçada. A frota brasileira de veículos movidos a álcool etílico, cujo auge de vendas ocorreu nos anos 1980, quando

foram comercializados cerca de 5,6 milhões de unidades, estava envelhecida e com uma elevada taxa de sucateamento. Os baixos preços do petróleo e seus derivados comprometiam a competitividade de qualquer produto sucedâneo da gasolina. Além disso, o persistente e crescente recuo no consumo de etanol ameaçava a existência de uma notável rede de distribuição, montada no período de auge do veículo a álcool, com aproximadamente 25 mil pontos de venda espalhados pelo país. A ameaça sobre o álcool pairava também sobre este patrimônio nacional.

Esta preocupação levou o governo brasileiro e o setor produtivo a estudar maneiras de preservar o álcool etílico como um combustível alternativo para os consumidores brasileiros e assegurar sua permanência no futuro. As eventuais políticas de recuperação do prestígio dos veículos movidos a álcool junto aos consumidores não pareciam ter chance de sucesso, por causa do permanente risco de descasamento entre as necessidades de consumo e a capacidade de produção das destilarias. Como os fatores que determinam a dimensão da safra de cana-de-açúcar e a produção de álcool e a disposição dos consumidores de adquirir um veículo com esse tipo de motorização não têm qualquer relação entre si, e como a temporalidade da decisão de produzir mais cana-de-açúcar e mais veículos são completamente divergentes (um novo canal deve levar dois, ou mais anos, para ser formado e colhido e um novo veículo é feito em minutos com o atual nível tecnológico), a chance de uma crise de abastecimento seria uma ameaça superveniente e permanente. Na ocasião, a saída encontrada pelos agentes públicos e privados envolvidos na discussão desse assunto, foi patrocinar o lançamento do veículo tipo *flex-fuel*, formalmente criado pelo Decreto Federal 4.317, de 31 de julho de 2002, para possibilitar que em março de 2003 fosse feito o lançamento comercial do primeiro veículo dessa classe.

O forte aumento dos preços do petróleo a partir de 2004, a tradição do consumidor brasileiro, que tinha pleno conhecimento das qualidades do álcool etílico como combustível substituto da gasolina; a vantagem econômica que a relação de preços do álcool com aquele combustível fóssil proporcionava e a aposta das montadoras de veículos no novo produto fez o mesmo ganhar a preferência dos consumidores e permitiu um surpreendente sucesso de vendas, que resultou, até o início do ano de 2010, na comercialização de um volume de veículos novos de quase 10 milhões de unidades e alavancou níveis acima de 90,0% de participação no total dos veículos novos vendidos no Brasil.

A súbita importância do álcool etílico combustível, ocasionada de um lado pelo crescente interesse internacional e, de outro, pelo aumento da demanda potencial associada à nova composição da frota nacional de veículos, coloca a urgência de fazermos um exercício de antevisão de quanto esforço produtivo será necessário para atender a todas essas necessidades no futuro próximo.

A natureza do funcionamento da cadeia de produção sucroalcooleira no Brasil

Antes de entrar na questão do volume futuro da demanda de etanol é necessário fazer uma rápida abordagem de como funciona essa cadeia de produção. O setor sucroalcooleiro, por ser uma atividade agroindustrial, é diretamente influenciado por uma característica intrínseca: a sazonalidade da produção da matéria-prima. A produção sazonal dissocia o período de colheita, que se concentra em alguns meses do ano-safra, das necessidades do consumo que se prolonga por todos os meses do ano. De praxe, é necessário formar estoques no período da colheita para regularizar a oferta, particularmente no período da entressafra.

Esta peculiaridade afeta um grande conjunto de culturas agrícolas e impõe um forte condicionante na comercialização desse tipo de produto. Em termos gerais, é possível separar estes produtos em duas categorias, de acordo com as condições gerais de seu comércio. De um lado, temos os produtos chamados de 'comercializáveis'³, os quais têm, de modo geral, uma dinâmica independente pois complementam o movimento do mercado externo, tanto na importação como na exportação. Uma vez que o país seja com-

³ *tradeables*, no original em língua inglesa.

petitivo na produção e não haja barreiras importantes ao comércio, as transações domésticas e internacionais garantem a regularidade do abastecimento, determinam os níveis de preços de comércio e a remuneração dos agentes econômicos envolvidos, requerendo pouca ou nenhuma intervenção governamental. Enquadram-se nesta categoria de produtos açúcar, a soja, o trigo, o algodão e o café. A formação dos estoques com a produção doméstica regulariza os fluxos de abastecimento e das exportações, de acordo com a estratégia comercial dos agentes das cadeias envolvidas. A direção e a intensidade do comércio, na exportação ou importação, estão associadas aos preços relativos, que são formados de acordo com o comportamento dos mercados globais, e estão refletidos nas cotações presentes e futuros das bolsas de mercadorias e de futuro. Eventualmente, em circunstâncias que fazem com que tais preços não sejam remuneradores, pode ocorrer a aplicação de políticas públicas compensatórias para garantir a continuidade da produção.

De outro lado, temos os produtos que, em face de suas características, têm pouca ou nenhuma viabilidade no comércio internacional. São produtos denominados de não-comercializáveis⁴. De fato, existem diferentes motivos que fazem com que os produtos agrícolas se enquadrem nesta categoria: (i) produtos que sejam típicos do mercado local, como o feijão e a farinha de mandioca; (ii) produtos cujos custos de transação tornem gravosa a exportação quando há excedente de produção e, quase sempre, onerosos quando há necessidade de importação, como é o caso do milho e do arroz⁵; e (iii) produtos que, apesar de terem consumo generalizado e serem competitivos no mercado internacional, têm um espaço de comércio externo muito pequeno em relação ao volume de produção e consumo domésticos, como é o caso dos biocombustíveis, etanol e biodiesel. Para todos esses produtos a formação dos preços está dissociada dos mercados internacionais e estes preços, de modo geral, dependem do volume da produção e do consumo doméstico; da política de gestão de estoques dos agentes, privados e públicos envolvidos e das medidas de políticas públicas adotadas.

A ação do poder público para garantir a regularidade da comercialização e abastecimento desses produtos sazonais, em face da legislação vigente, é realizada através de vários instrumentos de intervenção, e tem se destinado a promover a sustentação da renda dos produtores ou dos preços de produtos, como o feijão, o milho, o trigo, o arroz, o algodão, o café, etc, de acordo com as exigências conjunturais de cada mercado. O etanol – apesar de haver lei específica estabelecendo as formas de utilização de políticas públicas para a proteção do setor e a definição formal das fontes de recursos para esse desiderato⁶ - tem sido aliado das decisões em torno da política agrícola, e os mercados têm se ajustado de acordo com sua dinâmica própria.

No caso do etanol, devemos observar que sua matéria-prima predominante, a cana-de-açúcar, tem exigências agrônomicas peculiares que agravam esse problema e também afetam diretamente o funcionamento do mercado do produto final. Ao contrário da maior parte das outras lavouras o produtor dessa gramínea tem uma mobilidade limitada no uso da terra e substituição de sua lavoura. Como a cana-de-açúcar tem um longo ciclo agrônomico (em geral de seis a sete anos) e proporciona, em média, cinco anos de colheita em seu período de vida útil, uma vez iniciado o plantio é preciso aguardar o final do ciclo agrônomico para apurar os resultados econômicos. Por esse motivo, mesmo enfrentando dificuldades de preços pouco remuneradores ao longo do processo, os produtores independentes têm pouca chance de mudar de atividade no curto e médio prazo. No caso da cana de produção própria das unidades, esta opção é ainda mais distante, pois a cana cultivada é necessária para fazer funcionar a unidade industrial e produzir o açúcar e o álcool.

Ou seja, a redução na produção desta matéria-prima, mesmo em situação de crise econômica, somente pode ocorrer de forma bastante lenta. Além disso, como a cana-de-açúcar não tem como ser destinada a

⁴ *Non-tradeables*.

⁵ Observar que estas condições nem sempre se aplicam para os países do Mercosul, que não são alvos de qualquer tipo de barreira de proteção e estão geograficamente muito próximos de diversos grandes mercados consumidores nacionais.

⁶ Lei 10.453, de 13 de maio de 2002.

usos alternativos, todo o produto disponível deve ser colhido e processado, quando estiver maduro, dentro do período viável de safra.

A competição entre a produção de matérias-primas agrícolas e energéticas

Como já mencionado, todos os países têm condições de produzir algumas das matérias-primas necessárias para a produção desse tipo de combustível. A questão relevante está em desenhar programas que sejam capazes de produzir grandes volumes e com custos de produção razoáveis. As experiências recentes na produção e uso desses novos produtos, que abrangem muitos países, especialmente os mais ricos, indicam que este movimento de transformação da matriz energética mundial é um movimento sem retorno e que continuará crescendo com elevadas taxas, passando a ter grande importância na estratégia de geração energética de muitos países.

No entanto, a utilização de matérias-primas agrícolas para a produção de combustível em grandes volumes traz, para os países que iniciam este tipo de programa, algumas conseqüências que não podem ser ignoradas:

- inserção de uma nova e importante atividade agrícola: as lavouras energéticas, cuja colheita tem como destino as fábricas de biocombustíveis. Este novo tipo de lavoura pode ser de produtos convencionais, como o milho, o trigo, a beterraba, a cana-de-açúcar, a soja e a palma africana (dendê) ou de lavouras sem uso comercial atualmente, como a *jatropha curcas* (pinhão manso) e palmáceas, como a macaúba.
- efeitos diretos sobre os preços dos produtos das lavouras tradicionais que também atendem aos requisitos das lavouras energéticas, pela agregação de um novo e expressivo fator de demanda. Como é o mesmo produto que deve atender à nova demanda, não há como discriminar seu destino para a cadeia alimentar ou para a cadeia dos biocombustíveis. A pressão sobre os preços, no curto prazo, somente poderá ser reduzida se houver crescimento da produção, com a incorporação de novas áreas de cultivo. O milho nos Estados Unidos da América é o exemplo emblemático dessa ocorrência.
- acirramento da competição de uso das áreas das lavouras de produtos que ocupam terras aráveis aptas para as lavouras energéticas. A mudança nos preços relativos dos diversos produtos vai induzir muitos agricultores a alterar a composição de suas lavouras para atender aos novos sinais de mercado. No Brasil, a expansão da cana-de-açúcar tem ocorrido com grande intensidade em áreas antes ocupadas pela pecuária de corte.
- efeito cruzado de aumento de preços dos produtos tradicionais, cuja área de produção é adequada para o cultivo das novas lavouras energéticas. A redução do volume da safra dos produtos que cedem áreas de plantio para as lavouras energéticas tenderá a provocar algum tipo de pressão altista em seus preços de comércio.

O aparecimento desse novo tipo de demanda para a produção agropecuária, que pode significar mudanças de grandes proporções na ocupação de áreas de produção, altera profundamente a natureza do funcionamento dos mercados agrícolas, cuja função original era prover alimentos *in natura* (frutas, tubérculos, hortícolas etc.) e matérias-primas para a agroindústria tradicional, como a de fibras naturais (algodão); de açúcar (cana-de-açúcar e beterraba açucareira); óleos vegetais (soja e canola) e também, em certos casos, a atividade pecuária com a ocupação agrícola de áreas tradicionais de criação animal com aptidões diversas, como leite, carne e fibras.

Essa destinação de grandes extensões de terra, que antes produziam alimentos e matérias-primas agroindustriais e passam a produzir matérias-primas energéticas, cria um poderoso agente de transformação que tem imponderáveis efeitos sobre os níveis tradicionais de preços e sobre a disponibilidade de produtos para a provisão alimentar das populações.

Nestas circunstâncias, torna-se inevitável o acirramento dos velhos e conhecidos conflitos entre classes sociais e objetivos nacionais e mesmo o surgimento de novos. Os quatro principais pontos que têm gerado forte discussão são os seguintes:

- a segurança energética versus a segurança alimentar, que traz para debate a questão fundamental de como garantir o abastecimento alimentar para a população sem comprometer a oferta de energia. Dependendo do país e das circunstâncias locais, essa discussão pode ultrapassar as fronteiras nacionais.
- o crescimento das lavouras energéticas e a preservação do meio ambiente. A ocupação descontrolada de novas áreas de produção pode trazer prejuízos ambientais mais graves do que os benefícios promovidos pela substituição dos combustíveis de origem fóssil. Em qualquer circunstância é preciso buscar o desenvolvimento de atividades que tenham sustentabilidade econômica, social e ambiental.
- o crescimento das áreas de lavouras energéticas no contexto da estrutura agrária dos países. A substituição dos combustíveis tradicionais pelos derivados da biomassa, como um programa nacional, somente se justifica se estes últimos tiverem um custo de produção relativamente baixo e estiverem disponíveis em grandes quantidades. Isto significa dizer que a produção das lavouras energéticas necessita de ser feita em escala e com moderna tecnologia de produção. Claro está que a grande produção não significa necessariamente a presença do grande produtor, que pode ser substituído por pequenos produtores organizados em modelos de produção cooperativos e aptos a utilizar créditos bancários, assistência técnica adequada, mecanização e pacotes tecnológicos consentâneos com a obtenção de alta produtividade por unidade de área, com baixo custo. Neste caso, faz-se importante a implementação de programas oficiais que assegurem a comercialização tempestiva da produção e com preços remuneradores. Esse novo ramo de atividade pode ser um fator importante de inserção social, além de viabilizar o aumento da renda gerada pela pequena produção agrícola. A introdução das lavouras energéticas não implica, necessariamente, a concentração das propriedades rurais.
- a distribuição da renda nacional entre a população rural e a população urbana. Os aumentos nos preços dos produtos de alimentação, ao mesmo tempo em que aumentam a renda e as oportunidades no campo, trazem como contrapartida uma piora no poder de compra do consumidor urbano, especialmente para as camadas mais desfavorecidas. Esse efeito sobre os preços, em alguns casos, atinge o comércio internacional de alimentos e matérias-primas agrícolas favorecendo os países exportadores desses produtos e onerando os países importadores.

Em resumo, o uso, em grandes dimensões, de produtos agrícolas, convencionais ou não, para atendimento de um novo tipo de demanda, tende a provocar fortes desequilíbrios, que podem ser globais ou domésticos, nas relações econômicas, ambientais e sociais que não podem ser descuradas pelas autoridades responsáveis pela gestão do novo programa. É preciso observar também que, a despeito dos novos conflitos mencionados, as mudanças no perfil e na dimensão da demanda dos produtos agrícolas criam excepcionais oportunidades de desenvolvimento econômico e social para todos os países, especialmente os mais pobres.

Estimativa do aumento da demanda de etanol nos próximos dois anos

Nos últimos anos tem sido observado um rápido aumento no consumo de álcool etílico combustível no mercado doméstico concomitantemente com o aumento do volume de exportação desse produto.

O crescimento do mercado doméstico tem sido ocasionado pelo aumento da frota de veículos tipo *flex-fuel*, que faculta ao condutor escolher o combustível, etanol ou gasolina, no momento do abastecimento no posto de serviço. Como os preços do etanol hidratado são, em vários estados, mais atraentes que os da gasolina, aquele produto tem conquistado, de forma crescente, a preferência do consumidor. Os números das vendas anuais desse tipo de veículos são apresentados a seguir:

Tabela 1 – Frota de veículos tipo *flex fuel* (mil veículos).

Ano	Vendas Anuais	Vendas Acumuladas
2003	48	48
2004	328	377
2005	812	1.1989
2006	1.430	2.619
2007	2003	4.622
2008	2.329	6.951
2009	2.652	9.604

Fonte: ANFAVEA.

Da mesma forma, a instalação de programas de uso do etanol anidro em mistura com a gasolina em muitos países, especialmente nos EUA e na União Europeia, proporcionaram um crescimento, ainda que modesto e irregular, nas exportações desse produto, que passou de um volume próximo a 700,0 milhões de litros até 2003, para níveis acima de 3,0 bilhões a partir de 2006, tendo atingido um recorde de 5,12 bilhões de litros em 2008.

Com base nos dados da frota nacional de veículos leves e do perfil do consumo de etanol e gasolina nos últimos anos e também das perspectivas da exportação desse produto, a Conab publicou, em agosto de 2008⁷, um estudo com as estimativas do crescimento da demanda de etanol. Para os anos de 2010 e 2011, esta previsão é a seguinte:

Tabela 2 – Previsão do aumento do consumo de álcool etílico, da cana adicional e da ampliação da área de produção.

Indicadores	Ano Civil	
	2010	2011
Crescimento anual da demanda de álcool etílico (em milhões de litros)		
Crescimento anual projetado da demanda de álcool etílico para uso combustível	2.005	2.044
Crescimento anual projetado da demanda de álcool etílico para exportação	643	643
Crescimento anual projetado da demanda total de álcool etílico	2.649	2.687

Elaboração: Conab/Digem/Suinf.

Estas estimativas nos permitem dar um passo adiante e calcular a quantidade adicional de cana que deverá ser produzida, bem como as novas áreas de cultivo que deverão ser formadas. Dessa forma, e levando-se em conta que as novas unidades de produção estão sendo instaladas na região centro-sul e que nesta região o volume de produção de álcool etílico por tonelada de cana está estimado em 82,5 litros⁸, a quantidade de cana-de-açúcar adicional a ser processada é:

⁷ *O Etanol como um Novo Combustível Universal*.

⁸ Os índices de desempenho têm como fonte o estudo denominado *Perfil do Setor do Açúcar e do Álcool no Brasil*, elaborado pela Conab e publicado em abril de 2008. A quase totalidade desse crescimento concentra-se no eixo formado pelo estado de São Paulo e estados circunvizinhos (Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná).

Tabela 3 - Quantidade anual adicional de cana necessária (em mil toneladas) para atendimento da demanda.

Indicadores	2010	2011
Estimativa do volume adicional de cana-de-açúcar para atendimento da demanda	33.221	32.693

Elaboração: Conab/Digem/Suinf

Os gastos necessários para essa expansão dos novos canaviais podem ser estimados a partir da prospecção do custo de implantação de um hectare de cana, conforme quadro adiante:

Tabela 4 – Resumo do custo de implantação de um hectare da cultura da cana-de-açúcar.

Fase agrícola (Operações e materiais)	Unidades	Cálculo do custo por item		Custo total R\$
		Preço Unitário R\$	Por hectare R\$	
I. Preparo do solo	-	-	-	-
1. Serviços	-	-	-	481,67
2. Materiais	-	-	-	125,00
Soma	-	-	-	606,67
II. Plantio	-	-	-	-
1. Serviços	-	-	-	251,82
2. Materiais	-	-	-	1.050,00
2.1. Mudas	12,00	50,00	600,00	-
2.2. Adubos	0,375	1.200,00	450,00	-
Soma	-	-	-	1.301,82
III. Tratos Culturais	-	-	-	-
1. Serviços	-	-	-	74,40
2. Materiais	-	-	-	377,51
Soma	-	-	-	451,91
Total geral por hectare				2.360,40

Fonte: Conab.

A partir desses cálculos podemos estimar também o total das despesas a serem realizadas na implantação de uma lavoura de 30.000 hectares de cana-de-açúcar, área necessária para o funcionamento de unidade padrão de fabricação de álcool e/ou açúcar com moagem de 2 milhões de toneladas de cana a cada safra, e também a quantidade de fertilizantes utilizados na adubação de base na área do projeto:

$$30.000 \times R\$ 2.360,40 = R\$ 70.812.000,00.$$

$$30.000 \times 375 \text{ kg/ha} = 11.250 \text{ toneladas de fertilizantes.}$$

Para colocar em funcionamento o complexo de produção é necessário também um grande aparato de máquinas e equipamentos agrícolas destinados à produção, à colheita, ao carregamento e ao transporte da cana-de-açúcar para a unidade de produção. Dessa forma, podemos montar um quadro congregando os investimentos necessários para a implantação das novas lavouras de cana e para a aquisição do parque de máquinas. Os valores totais estimados chegam a R\$ 100,7 milhões e estão mostrados no quadro abaixo.

Tabela 5 – Consolidação dos dispêndios de capital na fase agrícola na montagem do complexo produtivo.

Investimento	Custo Total
1. Formação de 30.000 hectares de lavoura	70.811.850,00
2. Aquisição de 73 tratores	12.025.692,00
3. Aquisição do parque de implementos	1.707.154,80
4. Aquisição de 6 colhedeiças e dos equipamentos auxiliares	5.420.000,00
5. Aquisição de 33 caminhões de transporte de cana	10.000.000,00
6. Aquisição de 30 ônibus de transporte de cortadores	800.000,00
Total geral para 30.000 hectares	100.760.000,00 milhões
Total geral estimado por hectare	3.358,82

Fonte: Conab.

Além da fase agrícola será preciso cuidar também da fase industrial e aumentar a capacidade de processamento e a produção do atual parque de destilarias, expandindo as já existentes ou construindo novas unidades. Uma simulação do montante anual de investimentos nesse setor pode ser feita se levarmos em conta a mesma unidade padrão de produção, com as tecnologias mais recentes, e com capacidade nominal de moagem próxima de dois milhões de toneladas por safra de cana-de-açúcar. Para responder a essa necessidade, seria necessário instalar uma capacidade correspondente a 16 novas unidades de produção a cada ano, o que permitiria um crescimento equilibrado do setor. Para efeito de mensuração dos investimentos necessários, vamos admitir que essa unidade padrão ocupará uma área de lavoura de 30.000 hectares (inclusive área de renovação), e deverá aplicar um volume de capital da ordem de 240,0 a 260,0 milhões de reais⁹. Portanto, o total de investimentos requeridos a cada ano gira em torno de 4 bilhões de reais.

Em termos de capacidade produtiva a nova unidade, se dedicada somente à fabricação de álcool etílico, terá uma produção aproximada de 165 milhões de litros a cada safra. Dessa forma, cada litro adicional de produção álcool etílico requer um investimento total calculado em R\$ 1,50, equivalente a US\$ 0,85, com as atuais taxas de câmbio.

No que diz respeito à mensuração da área nova de lavoura de cana-de-açúcar, a cada ano é importante levar em conta três diferentes aspectos da lavoura canavieira. O quadro abaixo mostra a área efetiva de corte da cana adicional necessária. Os números estimados de crescimento anual da área da cana adicional a ser colhida são apresentados a seguir:

⁹ O projeto de instalação de uma nova unidade de produção, para a produção de açúcar e de álcool, deve contemplar a parte agrícola (a formação dos canais, a montagem do parque de tratores e implementos, e também os veículos, máquinas e equipamentos de colheita e transporte e armazenagem) e a parte industrial (sistema de recepção; limpeza e preparo da cana; extração do caldo; geração de vapor e energia e os equipamentos de produção de açúcar e álcool). As estimativas para a parte agrícola indicam um montante próximo de R\$ 3.500,00 por hectare de cana cultivada e a parte industrial, R\$ 70.000,00 a R\$ 75.000,00 para cada mil toneladas de cana processada.

Tabela 6 – Área de corte anual adicional de cana (em mil hectares).

Indicadores	Ano civil	
	2010	2011
Estimativa da área adicional de cana-de-açúcar a ser colhida em hectare	382.222	387.815

Fonte: Conab/Digem/Suinf.

É necessário ainda levar em conta que o ciclo agrônômico da cana-de-açúcar de variedade precoce está em 12 meses e para as variedades de ciclo normal, este período varia de 15 a 18 meses. Além disso, em condições normais a vida útil de um canavial permite cinco cortes após os quais é necessário realizar a substituição da cana envelhecida. Nestas condições, a rotina normal da produção agrícola das usinas brasileiras estabelece a renovação de uma parcela do canavial a cada ano. Em geral, existe uma parcela de renovação que é feita com variedades precoces, que por ter um período de maturação rápido permite o corte na safra imediata; e outra parcela que é feita com cultivares de ciclo médio e longo que, em face do período de maturação, estará muito jovem para ser cortada na safra imediata e deverá aguardar a safra subsequente para ser colhida. Assim, existe, a cada ano, uma parcela do canavial, estimada em 15,0%¹⁰, que está cumprindo seu ciclo vegetativo de crescimento e não está pronta para o corte.

Um terceiro ponto que não podemos deixar de considerar está em que a leis brasileiras de proteção ambiental estabelecem a necessidade de uma reserva legal de parcela do estabelecimento de produção, que deve permanecer intocada. Nos estados antes mencionados, a reserva ambiental mínima exigida, sem considerar as áreas de preservação permanente, é de 20%. Ou seja, o cultivo do estabelecimento de produção deverá ser, no máximo, de 80,0% da sua área total. Isto significa dizer que todo produtor deve dispor de uma área livre de preservação associada ao total de sua área de produção.

No quadro adiante, está mostrada a área total que será comprometida com o novo canavial¹¹, incluindo a parte em processo de renovação e a área de reserva obrigatória, e também a proporção da área que será efetivamente colhida.

Tabela 7 – Área anual necessária para os novos canaviais, inclusive reserva (em mil hectares).

Indicadores	Ano civil	
	2010	2011
Área anual necessária para a formação dos novos canaviais (em mil hectares)		
Estimativa da área adicional de cana-de-açúcar a ser cultivada, inclusive área de renovação de canavial (em hectares)	449.673	456.253
Área anual necessária para os novos canaviais, inclusive reserva (em mil hectares)		
Estimativa da área adicional a ser ocupada, inclusive área de renovação e área de reserva ambiental de 20% (em hectares)*	562.092	570.316
Participação percentual da área de corte na área total de uso	68,0%	68,0%

Fonte: Donab/Digem/Suinf.

¹⁰ Conforme o estudo *Perfil do Setor do Açúcar e do Alcool no Brasil* publicado pela Conab, em abril de 2008.

¹¹ Uma maneira complementar de apresentar esses números, e que facilita a compreensão de sua importância, está no cálculo da área total necessária para a produção de 1,0 bilhão de litros de álcool. Se considerarmos que o rendimento físico médio por hectare de produção de cana, nos estados onde se concentram as novas áreas de produção, está estimado em 84,3 toneladas, este total está próximo de 210 mil hectares, inclusive área de renovação e de reserva legal; investimentos da ordem de R\$1,6 bilhões e um volume de 12,1 milhões de toneladas de cana para ser processada.

O conjunto dos números apresentados nos permite calcular também a quantidade de fertilizantes químicos necessários para o plantio dos novos canaviais a cada ano. Como admitimos que a adubação de base usa 375 kg de formulados químicos por hectare e o crescimento da demanda potencial de etanol em um volume aproximado de 2,7 bilhões de litros (e que demandaria uma área de cultivo pouco acima de 450 mil hectares - inclusive área de renovação), a necessidade anual estimada desses fertilizantes para as novas áreas está em torno de 170 mil toneladas.

Do ponto de vista da disponibilidade física de solos aptos e de clima adequado para viabilizar esta expansão, os limites são bastante amplos. Como a cana-de-açúcar naqueles estados antes referidos tem um alto rendimento físico de produção, estimados em 7 mil litros de álcool por hectare de lavoura, a dimensão da área anual necessária tem pequena expressão no total da área de cultivo disponível. Os números de ocupação de área para os estados de interesse constam do Censo Agropecuário de 2006, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e são os seguintes:

Tabela 8 – Ocupação das áreas dos estados com forte expansão da lavoura de cana-de-açúcar.

Destinação da área	SP	MG	PR	GO	MS	Total
Oficial do estado	24.824,9	58.652,8	19.931,5	34.008,7	35.712,5	173.130,4
Total dos estabelecimentos rurais	19.242,0	35.669,8	17.658,1	24.983,0	26.449,1	124.002,0
Lavouras	7.454,7	6.911,2	8.090,9	3.590,6	2.217,7	28.2565,0
Pastagens	8.594,7	20.555,1	5.735,1	15.524,7	18.421,4	68.831,0
Cana-de-açúcar	3.284,7	431,3	432,8	237,5	152,7	4.539,1
Matas e florestas	8.594,7	8.805,7	3.172,9	5.239,9	4.951,0	30.764,2

Fonte: Censo Agrícola de 2006 – IBGE (resultados preliminares).

Como pode ser percebido nos números apresentados, com exceção do estado de São Paulo, que concentra uma parcela de 60% das atividades sucroalcooleiras no Brasil, em todos os demais estados onde esta atividade está se expandindo de forma acelerada, a cana-de-açúcar tem pequena expressão na área explorada pela atividade agropecuária. Para o conjunto de todos os estados arrolados no quadro, a área de lavoura da cana-de-açúcar representa 2,6% da área territorial dos mesmos e 4,7% do total das áreas destinadas à atividade agropecuária. A preocupação com a ocupação exagerada com uma mesma lavoura e a monocultura de um produto não é procedente, com exceção de eventuais regiões específicas dentro dos estados.

Dadas as ótimas condições da estrutura física dos solos, do regime de chuvas e da tradição agrícola desses estados, podemos concluir que a questão da disponibilidade de terras aptas para a expansão da lavoura canavieira nos Brasil não faz parte das principais restrições que podem entravar seu crescimento nos próximos anos. O acesso aos capitais necessários, a garantia de rentabilidade mínima dos investimentos, a disponibilidade de quadros gerenciais preparados e o ambiente adequado para estimular as iniciativas empresariais para os novos empreendimentos são fatores mais relevantes a serem equacionados.

O uso da biomassa como fonte energética é um movimento irreversível e de conseqüências imprevisíveis

Na atual conjuntura energética mundial, que enfrenta questões ambientais severas associadas ao uso de fontes fósseis para a geração de energia e forte instabilidade no mercado do petróleo, não apenas pelos altos preços, mas também pelas dúvidas sobre o volume das reservas conhecidas e sua longevidade em face do crescente consumo mundial e também pela incerteza quanto à garantia da oferta, que pode ser

afetada por questões de cunho político, formou-se um movimento irreversível pela busca de fontes alternativas e limpas para a geração energética.

Dentre todas as novas fontes cogitadas, o álcool etílico, um produto possível de ser produzido em grandes volumes, com custos competitivos e com qualidades intrínsecas já comprovadas, surge como a opção mais simples, imediata e realista para fazer parte da matriz energética internacional. Estes fatores colocam uma grande imprevisibilidade sobre o comportamento futuro dos mercados desse produto e recomenda que todas as variáveis que possam afetar sua oferta e sua demanda, em nível doméstico e internacional, estejam em permanente análise, e as eventuais medidas de correção de rumos, quaisquer que venham a ser, estejam disponíveis. Não se pode permitir que a imprevidência e ausência de decisões tempestivas venham a conturbar a imagem de um produto que está pronto para tornar-se um combustível universal.

A ampla experiência brasileira na produção, distribuição e uso do álcool etílico combustível em todas as suas formas é um patrimônio formidável e importante para acelerar o processo de universalização do novo combustível. Além desta tradição, que pode ser repassada para todos os interessados, o país reúne todas as condições para tornar-se um ofertante permanente desse produto no mercado internacional além de tecnologia agrícola e industrial e equipamentos de produção.

Como líder natural desse movimento de transformação internacional, o Brasil precisa tomar as iniciativas que facilitem aos países interessados, especialmente os mais pobres, o início de seu programa de energia da biomassa. Nesse sentido, além dos aspectos comerciais dessa matéria, o país tem condições de oferecer os seguintes produtos:

- tecnologia e conhecimento em lavouras de tipo tropical adequadas para a produção de biocombustíveis.
- modelos organizacionais da produção de pequenos produtores, de forma coletiva, que permita a consecução de bom nível de produtividade agrícola e comercialização através de canais adequados para a garantia de renda.
- treinamento de técnicos, em centros especializados, para países interessados.
- informações agropecuárias contextualizadas e de qualidade sobre a produção, o comércio e o consumo de alimentos e bioenergia, no Brasil e no mundo, e as oportunidades associadas a cada produto.

Como estas questões englobam assuntos que são de interesse diplomático e estratégico do país, o governo federal é o agente natural de orientação e coordenação dessas iniciativas e de montagem de programas para serem oferecidos a outros países e às grandes agências internacionais.

A posição brasileira deve privilegiar não apenas oportunidades econômicas e conquista de novos mercados no ramo dos combustíveis (que virá naturalmente se formos bem sucedidos). Mas, principalmente, a construção de um mundo onde a política energética deixe de ser um instigador de guerras e conflitos para tornar-se um instrumento de união entre os povos. Para isso, temos que apresentar nosso álcool como uma idéia, não como um negócio.

Para a construção do novo mundo são precisos idéias e conceitos novos

Com a intensificação do uso dos combustíveis de fontes renováveis em todo o mundo, inclusive os combustíveis líquidos com origem na biomassa, como o álcool etílico e o biodiesel, é necessário passar a observar o futuro da humanidade com outras categorias de pensamento, e antever como a mudança na matriz energética internacional vai afetar o equilíbrio entre os países. Nestas condições, é precedente observar que a construção de um novo mundo requer o desenvolvimento de conceitos novos e idéias novas. O pensamento tradicional não é capaz de lidar com estas transformações

Um ponto que não pode ser ignorado está no que pode ser denominado de efeito anestésico do uso do petróleo. O petróleo faz parte da vida cotidiana das pessoas em todo o mundo. O uso de seus derivados, como o gás liquefeito, a gasolina, o óleo diesel, o querosene, o PVC, o asfalto e os materiais plásticos, têm presença constante e integral na forma de vida de nossa organização social. Por esse motivo, existe uma tendência inevitável de termos uma postura emoliente com seus efeitos deletérios sobre o meio ambiente e a qualidade de vida, como se tais efeitos fossem coisas naturais.

Além disso, qualquer proposta de substituição desses produtos somente é aceita se não impuser qualquer mudança em nossos hábitos estabelecidos. Mesmo a mistura, em pequenas proporções, de álcool etílico na gasolina provoca desconfiança e dúvida no procedimento dos consumidores que tendem a ver o novo produto como uma ameaça a seu veículo, que é seu patrimônio particular. Não existe, ao menos na presente geração, qualquer predisposição generalizada para aceitar mudanças, sem resistência. Isto, com frequência, tem implicado supervalorizar as fragilidades dos combustíveis alternativos e esta propaganda tem forte efeito paralisante sobre as forças mudancistas

Finalmente, é necessário reiterar que a produção de biomassa para a fabricação de combustíveis, por ser um produto recente e ter caráter universal, facilita a criação de laços de solidariedade entre países (particularmente entre países pobres e importadores de petróleo e seus derivados), pois além de promover maior independência energética, facilita a criação de uma cadeia produtiva de elevada complexidade. Essa nova cadeia de produção, que cria um mercado novo para várias matérias-primas agrícolas, tende a quebrar a inércia das lavouras tradicionais, que têm mercados de dimensões conhecidas e limitadas, e criar oportunidades quase ilimitadas de expansão para um mercado que tende a ser vigoroso e seguro. Para que isso venha a ocorrer, de forma rápida e segura, é necessário que os países que tenham esse interesse conheçam sua própria vocação agrícola e criem modelos de produção compatíveis com as exigências da nova indústria nascente, que requer regularidade da oferta e preços razoáveis, mesmo porque a produção de combustíveis de baixo custo é importante alavanca de desenvolvimento. A cooperação entre países que já tenham algum tipo de experimento e conhecimento pode ocorrer de forma espontânea e natural, pois este tipo de combustível não gera qualquer tipo de emulação ou competição destrutiva entre os mesmos.

Juntamente com as mudanças no perfil da produção agrícola, que é a parte permanente e frágil do processo, também é necessário instalar um novo setor industrial e um modelo de distribuição do novo combustível. Esses dois elos complementares da cadeia agregam enorme valor ao sistema produtivo e muitos novos empregos, e a substituição do combustível importado pelo doméstico reduz o dispêndio de divisas, melhorando o balanço de pagamentos e as contas externas. Ou seja, a nova cadeia de produção, se implementada de forma organizada, é uma forte alavanca de progresso, inclusão social e união entre os povos.

Referências bibliográficas

- BIOETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR – ENERGIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)/ Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <www.bioetanoldecana.org>. Acesso em 20 jan. 2010.
- BIOETANOL COMBUSTÍVEL: UMA OPORTUNIDADE PARA O BRASIL. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Brasília, 2009. Disponível em: <www.cgEE.org.br>. Acesso em 15 fev. 2010.
- PERFIL DO SETOR DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Brasília, 2008. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em 13 mar. 2010.
- FILHO, Ângelo Bressan. O ETALNOL COMO UM NOVO COMBUSTÍVEL UNIVERSAL. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), 2008. Disponível em: <www.conab.gov.br> Acesso em 17 abr. 2010.
- OS FUNDAMENTOS DA CRISE DO SETOR SUCROALCOOLEIRO NO BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), 2009. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em 18 abr. 2010.

POLÍTICAS GOVERNAMENTAIS PARA OS BIOCOMBUSTÍVEIS

RICARDO BORGES GOMIDE¹

Introdução

As políticas governamentais que fundamentaram as bases para a indústria brasileira de biocombustíveis estiverem presentes durante toda nossa história como país. Iniciaram-se logo após o descobrimento, com a formação das Capitânicas Hereditárias, e vão até os dias atuais. Nesse ínterim de quinhentos anos, há interessantes registros históricos de apoio à produção de açúcar e álcool, seja da época do regime imperial sob o comando de Dom Pedro II ou mesmo no início do período republicano, quando o nome do nosso país era República dos Estados Unidos do Brasil (com “z” mesmo). Passou também por diferentes tipos de governos – militares e democráticos.

O mais importante é que, de um modo ou outro, com mais ou menos apoio, direto ou indireto, os pilares agrícolas para o desenvolvimento dos biocombustíveis se mantiveram em pé, resistindo inclusive a ciclos econômicos como do ouro, do café e, nas últimas décadas, da industrialização. Hoje, é um tema que está na pauta da discussão mundial, presente em diversos fóruns sobre energia, geopolítica, sustentabilidade e mudanças climáticas.

Nesse trabalho, o que se busca é discorrer sobre essas políticas governamentais para biocombustíveis, nos contextos histórico e atual, onde o tema adquiriu notória visibilidade. Essa ação governamental, ao longo dos anos, nada mais foi e é do que um conjunto de regras que harmonizavam interesses de atores distintos, nem sempre na mesma direção dentro da sociedade. Estavam relacionadas, normalmente, com medidas governamentais para introduzir e, no segundo momento, consolidar a produção e o uso de biocombustíveis no Brasil. São ações que passam pelo suporte à agricultura e à instalação de unidades industriais de produção, à estruturação da cadeia logística e de abastecimento, à definição de normas e padrões de comercialização, ao consumo e à fabricação de veículos. As estratégias, de uma forma ou outra, apresentam características semelhantes, com definição de mandatos para uso compulsório, políticas fiscais, creditícias e tributárias que consideram externalidades positivas dos biocombustíveis em relação aos fósseis.

Todavia, antes de tratar da política para biocombustíveis em si, conceitua-se o que é de fato uma política governamental e qual o seu papel na sociedade, em uma visão que se origina na própria formação do Estado Moderno. Objetiva, ainda, destacar a importância que os biocombustíveis possuem no ambiente brasileiro como fonte renovável e sua participação expressiva na matriz energética nacional.

O papel da política governamental para biocombustíveis

De certo é que a ação governamental em biocombustíveis é essencial para sua introdução no mercado, mas cabe primeiro entender qual é o objetivo e o papel da política governamental de modo amplo, assim como qual é a função do governo na sociedade.

A política pública ou governamental é a expressão do governo em face dos problemas e dos diferentes atores da sociedade e suas demandas. A política pode então ser entendida como, nada mais, nada menos, a presença de um ente central que busca estabelecer a boa relação entre os seres de uma sociedade e, para tanto, estabelece normas e condutas para uma convivência harmoniosa.

Trata-se, portanto, de uma forma de conciliar interesses em que toda a sociedade, direta ou indiretamente, participa. Isto quer dizer que a liberdade delegada ao Estado para agir no sentido de garantir a convivência harmoniosa não se superpõe à liberdade remanescente de cada indivíduo. Este continua com o

¹ M.Sc. Engenharia Mecânica (UFSC). Ministério de Minas e Energia (MME). E-mail: ricardo.gomide@mme.gov.br.

poder de expressar sua opinião na busca da defesa de seus interesses, seja na esfera íntima ou pública. O governante democrático, por sua vez, move-se na direção em que se movimenta o pensamento majoritário desses indivíduos.

Em certas áreas da política pública, os interesses são específicos e bem delineados. Os atores são bem conhecidos. Entretanto, no contexto dos biocombustíveis, a quantidade de interesses objetivos e difusos é bastante ampla dentro da sociedade como um todo. Configura-se pela multiplicidade de temas envolvidos, sendo este um desafio adicional para chegar ao consenso ou à harmonia. Adicional não significa insuperável, mas, sim, que requer maior atenção do governante.

Para ilustrar, são grandes áreas que permeiam a política governamental para biocombustíveis: geopolítica, energia, agricultura, meio ambiente, indústria, comércio, transporte, trabalhador, consumidor, ciência e inovação tecnológica, tributação e comércio exterior. Fazer política pública para biocombustíveis significa estabelecer a regra de convivência entre essas áreas, cada qual com seus próprios atores.

Por último, nessa parte conceitual, é conveniente estabelecer a diferença entre governar e administrar. O primeiro define a atividade governamental. Significa dirigir como chefe de governo, exercer autoridade soberana e continuada, regular o andamento de uma sociedade, controlar e dirigir a formulação e a administração da política em uma nação. Por sua vez, administrar quer dizer exercer a gerência de negócios e atividades (próprios, alheios ou públicos), atuar ou pôr em prática uma ação para obtenção de um resultado. Assim sendo, a ação governamental é diferente da ação administrativa, mas ambas são importantes para o sucesso dos biocombustíveis, pois são a união da vida estatal com a vida privada em torno de um objetivo comum.

As principais instituições do governo federal relativas aos biocombustíveis

A temática energética, na qual está inserida a discussão sobre os biocombustíveis, é considerada estratégica para o país. Além disso, conforme comentado antes, envolve áreas que não somente a pasta da energia. Por esses motivos, a coordenação política do assunto é realizada diretamente pela Casa Civil da Presidência da República (CC/PR).

Sem embargo, há duas instituições centrais que tratam especificamente do assunto energia, inclusive biocombustíveis. A primeira é o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), criado pela lei nº 9.478, de 1997, vinculado à Presidência da República e presidido pelo Ministro de Minas e Energia (MME). Tem a atribuição de propor ao Presidente da República políticas nacionais e medidas sobre a pauta energética. Na parte de biocombustíveis, destacam-se a promoção do aproveitamento racional dos recursos e o estabelecimento de diretrizes para programas de biocombustíveis.

A composição do CNPE é plural. Além do Ministro de Minas e Energia, integram os Ministros Chefe de Casa Civil (CC/PR), da Ciência e Tecnologia (MCT), do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG), da Fazenda (MF), do Meio Ambiente (MMA), do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e da Integração Nacional (MIN). Compõe também o CNPE o presidente da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e representantes dos Estados e do Distrito Federal, da sociedade civil especialista em matéria de energia e de universidade brasileira.

A segunda instituição central é o próprio Ministério de Minas e Energia, órgão da administração federal direta com responsabilidade específica no assunto energético, entre outras competências. Possui um departamento próprio para tratar de biocombustíveis, no caso o Departamento de Combustíveis Renováveis.

Cabe ainda acrescentar o Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool (CIMA), criado por um ato infralegal. Como o próprio nome sugere, seu objetivo é deliberar sobre as políticas relacionadas com as atividades do setor sucroalcooleiro. Compõem este conselho os seguintes órgãos: MAPA, MME, MF e MDIC.

No âmbito do biodiesel, um combustível com história mais recente, há duas instâncias particulares, ambas também criadas por ato infralegal. Uma de orientação estratégica e política: a Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel (CEIB), sob coordenação da Casa Civil. A outra instância é o Grupo Gestor do Biodiesel (GG), de caráter mais operacional, coordenado pelo MME. A composição inclui diversos órgãos da administração direta (CC/PR, MME, MF, MT, MAPA, MDA, MTE, MDIC, MPOG, MCT, MMA, MIN, MCid, SECOM/PR), sendo que a instância operacional é também formada pela ANP, BNDES, EMBRAPA e PETROBRAS.

Na temática energética, é meritório destacar ainda duas outras entidades, da administração indireta. De um lado está Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), que possui atribuições próprias para regular e fiscalizar o abastecimento de biodiesel e etanol, além da regulação da indústria do petróleo, gás natural e demais combustíveis. De outro a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), cuja responsabilidade abrange também a cogeração a partir da biomassa da cana-de-açúcar. As duas Agências foram criadas, respectivamente, pelas Leis nº 9.478, de 1997, e 9.427, de 2006.

O surgimento da cana-de-açúcar no Brasil

É interessante observar que a cana-de-açúcar passa a ser cultivada no Brasil no século XIV, não muito depois da formação do Estado Moderno que, conforme vimos, constituía-se como um ente centralizado e que de certa maneira atendia aos interesses de uma burguesia em expansão, na medida em que zelava pelo direito de propriedade individual e garantia a segurança na sociedade.

O modelo inicialmente adotado para iniciar o cultivo de cana foi dividir o Brasil em Capitânicas Hereditárias, doadas a donatários portugueses. Cada empresário da época podia explorar a terra que havia recebido e produzia açúcar para abastecimento do mercado europeu. Em contrapartida, colaboravam com a coroa portuguesa na povoação e na defesa do território colonial contra ataques holandeses, ingleses e franceses, que tinham ficado de fora do Tratado de Tordesilhas.

Acredito que as razões desse modelo da cana-de-açúcar no Brasil não difere muito dos motivos da própria formação do Estado Moderno. Isto porque, de algum modo, pode ser interpretado como a concessão de direitos ou até mesmo privilégios a uma burguesia europeia em crescimento. O início da cana-de-açúcar no nosso país serviu, em parte, para assegurar o processo de desenvolvimento e expansão da Europa naquele período, pois o resultado do processo produtivo era para lá desviado.

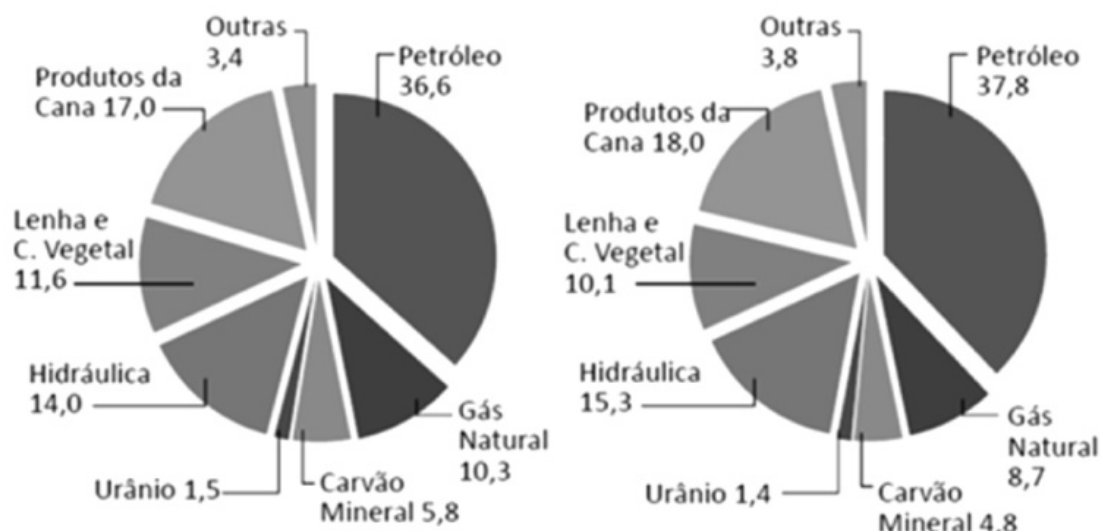
Não obstante, a cana teve e tem uma importância ímpar na história brasileira. Por muitos anos foi o pilar fundamental da nossa economia colonial, voltada para exportação de açúcar, como bem retratou Celso Furtado na sua obra – Formação Econômica do Brasil [6]. Só teve sua proeminência diminuída durante os ciclos econômicos do ouro e do café, ou já no século XX durante a fase de industrialização. Ainda, assim, a cana persistiu, em maior ou menor escala, mesmo após a transição da economia escravista para o trabalho assalariado.

Vale salientar também, como marcou Furtado, que a cana foi uma das partes positivas da dualidade brasileira caracterizada pela convivência entre um setor de alta produtividade, ligado às exportações (açúcar, por exemplo), e outro de subsistência, de baixa produtividade.

A importância da cana-de-açúcar como um bem energético

A relevância da cana-de-açúcar permanece até hoje. Além de ser o cultivo comercial por mais tempo em atividade no Brasil (quase quinhentos anos), o primeiro produto derivado da cana – o próprio açúcar – possui um mercado muito bem estabelecido. As taxas de crescimento da demanda mundial são diretamente influenciadas pelo efeito renda e, particularmente, têm se sustentado em patamares bastante razoáveis em função de economias emergentes como Brasil, China e Índia, que também são *players* importantes no lado da oferta.

Mais recentemente, desde a criação do Pró-álcool na década de 1970, a cana teve seu escopo de utilização bastante ampliado. Do ponto de vista energético, os derivados da cana-de-açúcar – o etanol e a bioeletricidade – ocupam no presente a segunda posição no *ranking* da oferta primária de energia no Brasil. Estão atrás somente do petróleo. A hidroeletricidade, tão tradicional no nosso país, com sua imensa quantidade de rios em várias regiões, já foi ultrapassada pela cana [7]. A figura a seguir mostra que, em 2009, a participação dos produtos da cana na oferta de energia foi 18,0%, enquanto a de origem hidráulica foi 15,3%.

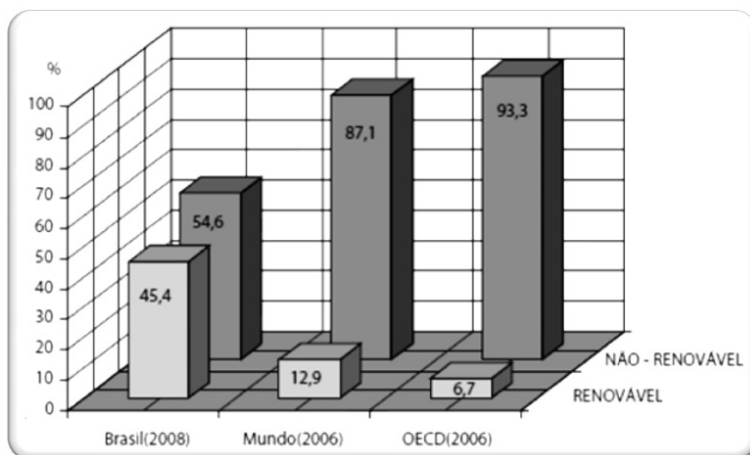


Fonte: MME - Boletim Mensal de Energia (dez/2009) [7].

Figura 1 - Oferta interna de energia no Brasil em 2008 e 2009.

Embora o petróleo continue com participação expressiva (37,8%), assim como outras fontes (gás natural, carvão mineral e urânio) que fazem com que a participação de fósseis alcance 52,8% da matriz energética nacional, é muito importante ressaltar a forte presença dos recursos renováveis. As energias dos produtos da cana, da hidráulica, da lenha e do carvão vegetal e de outras renováveis, como eólica e solar, totalizam uma participação de 47,2%. Aparentemente, e tão somente aparentemente, poderia ser interpretado como um resultado ruim, haja vista a outra metade da matriz ser praticamente fóssil.

Contudo, a análise precisa ser em base comparativa. No resto do mundo, como mostra a figura 2, a participação média de fontes renováveis é 12,9% [8]. Quando se analisa apenas os países mais ricos, integrantes da Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômicos (OCDE), e que mais consomem energia *per capita*, essa participação renovável cai para tão somente 6,7%. O Brasil, nesse contexto, diferencia-se bastante, e positivamente, do restante do mundo, por possuir uma matriz energética bastante limpa e equilibrada entre fontes fósseis e renováveis.

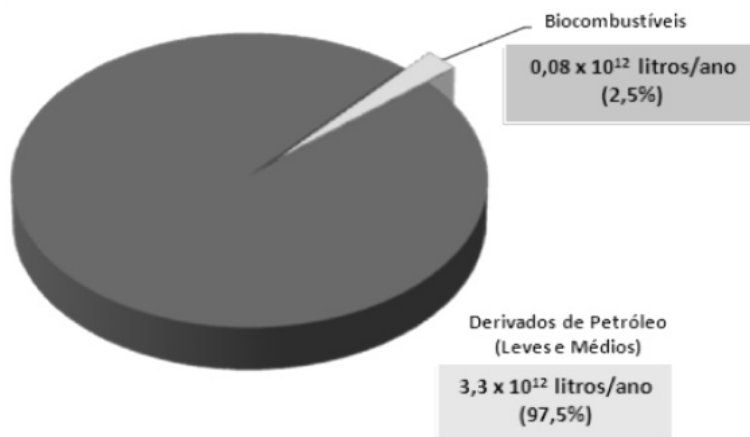


Fonte: MME – Resenha Energética Brasileira.

Figura 2 - Estrutura da oferta interna de energia no Brasil e no mundo.

Mais do que expressiva seja a participação atual da cana na nossa matriz, esta rica fonte de biomassa energética mostra sinais de que continuará essencial nas próximas décadas. Primeiramente, porque a dimensão do mercado energético mundial é “infinitamente” maior do que a demanda por açúcar. Apenas uma pequena parcela do mercado de combustíveis é hoje abastecido com etanol. Para ser preciso, apenas 0,9% com etanol de cana-de-açúcar e 1,1% de etanol de milho e cereais.

Ou seja, o potencial de crescimento frente aos derivados de petróleo é muito expressivo, ainda que dificultado por razões distintas, sejam elas de origem geopolítica ou não. A dimensão do mercado já está dada, mesmo sem considerar a expansão do consumo de energia nas próximas décadas. A figura 3 apresenta que apenas 2,5% do consumo mundial de combustíveis são atendidos por biocombustíveis (2% com etanol e 0,5% com biodiesel). Os restantes 97,5% são provenientes dos derivados leves e médios do petróleo (principalmente gasolina, diesel e querosene de aviação).

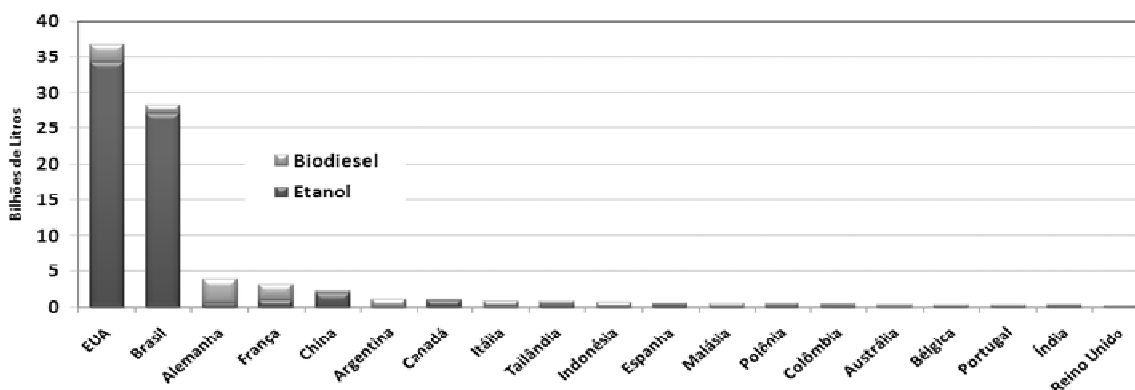


Fonte: elaboração MME com base em fontes diversas (ANP, BP, CAER, EBB, REN21 etc).

Figura 3 - Participação de biocombustíveis no mercado mundial de combustíveis (2008).

Outro sinal que a cana-de-açúcar continuará importante é quando comparamos seu uso na produção de etanol em relação a outras matérias-primas. Hoje, o etanol é quase dividido meio a meio entre cana e milho, sendo Estados Unidos e Brasil os principais produtores, bem na frente dos demais países, como mostra a próxima figura. O outro biocombustível comercial – o biodiesel – possui uma participação mo-

desta comparada ao etanol. Mas, voltando à cana, esta possui vantagens notáveis sobre o milho na produção de etanol em termos de sustentabilidade econômica, social e ambiental [9].



Fonte: elaboração MME com base em fontes diversas (ANP, BP, CAER, EBB, REN21).

Figura 4 - Produção de biocombustíveis por país (2008).

Em fevereiro de 2010, em decisão histórica, a agência ambiental dos Estados Unidos da América (EPA, sigla em inglês), validou o etanol de cana-de-açúcar como um biocombustível avançado. O etanol de milho não logrou esse êxito. Na verdade, o etanol de cana será o único em produção comercial capaz de cumprir as metas previstas para a expansão do consumo de biocombustíveis nos EUA na próxima década, se outras tecnologias avançadas (etanol celulósico) não se tornarem viáveis ou não forem desenvolvidas a tempo. Essas metas estão diretamente ligadas às reduções desejadas nas emissões de dióxido de carbono e outros gases responsáveis pelo efeito-estufa, coisa que o etanol de milho não consegue atingir. Essa decisão, certamente, cria mais oportunidades para o etanol brasileiro.

A esperança é que o etanol celulósico possa avançar na redução das emissões de CO₂, podendo ser produzido a partir de capim, madeira e diversos resíduos de origem agrícola. Entretanto, hoje, o etanol celulósico não passa de uma promessa. Ainda não deixou o laboratório, nem é produzido em escala comercial. Muitos especialistas consideram que ainda vai demorar a tornar-se uma realidade efetiva, mesmo porque a questão do custo de produção ainda é uma variável a ser mais bem equacionada. Faltam melhores comprovações de sua viabilidade técnica e econômica, mas, de fato, sua presença no mercado deverá ser relevante no médio ou longo prazos.

Cumprir ressaltar que o etanol celulósico também não excluirá o etanol de cana ou a própria cana. A razão inicial é que o etanol de cana é um combustível competitivo, com baixo custo de produção e já é considerado avançado porque propicia ótima redução das emissões de gases causadores do efeito estufa em seu ciclo de vida. Ademais, a cana também será matéria-prima para o etanol celulósico quando este se tornar viável na visão comercial.

Cerca de dois terços da energia bruta da cana está contida no bagaço e na palha, hoje inaproveitada na produção do etanol. Apenas um terço (o caldo ou o suco da cana) vira etanol [9]. Com tecnologias chamadas de segunda geração, ou celulósico, será possível produzir etanol a partir do bagaço ou mesmo da palha. Espera que a cana seja até mais competitiva do que outras matérias-primas na segunda geração, pois sua logística já está bastante estruturada desde agora. Por exemplo, o bagaço já se encontra na própria unidade produtora de etanol e na forma triturada (quase como um pó), ao passo que outras alternativas, como a madeira, precisará ser transportada até uma nova unidade produtora e lá passar por etapas de pré-tratamento, incluindo a trituração.

Há ainda outras boas janelas de oportunidades para o futuro da cana. Destaca-se a possibilidade tecnológica de produzir, a partir da fermentação do caldo de cana, biodiesel de segunda geração (um produto muito próximo do diesel de petróleo do que o biodiesel derivado de óleos vegetais). Ou mesmo a partir do açúcar bruto a ser extraído da celulose contida no bagaço (a partir de rotas celulósicas). Simplificada-

mente, é um processo similar à produção de etanol tradicional, só que a fermentação ocorre com uso de leveduras distintas.

Espera-se que esse novo combustível seja competitivo assim como o etanol de cana já o é presentemente. Vale lembrar que em um hectare é possível obter mais de 7.000 litros de etanol, enquanto, para o biodiesel de soja ou girassol, estaríamos falando de menos de 600 litros. Ademais, já existem, em fase de instalação no Brasil, unidades de produção de biodiesel de cana em escala comercial, anexas a usinas de produção de etanol e açúcar. Sua entrada no mercado deverá ser uma novidade em um horizonte temporal não muito distante.

Estratégias para introdução de biocombustíveis no mercado energético

De maneira global, a principal restrição ao maior uso de biocombustíveis (e também de outras fontes renováveis como solar e eólica) é o maior custo de produção em relação aos derivados de petróleo. À exceção do etanol de cana-de-açúcar, cuja curva de aprendizado no Brasil o fez um produto competitivo sem qualquer subsídio, os demais combustíveis esbarram continuamente na questão econômica.

Trata-se, em comparação prosaica, do dilema do “ovo e da galinha”. A pequena escala dos biocombustíveis em relação aos combustíveis fósseis não contribuiu para redução de custo. E sem a redução de custo não ganham escala. A sua introdução no mercado exige, então, a formulação de política pública específica, de modo a harmonizar os diferentes interesses envolvidos. De um lado um custo maior, que pelo menos no primeiro momento conduziria o consumidor a adotar a lógica estritamente econômica. Isto é, não consumi-lo, dando preferência ao derivado de petróleo mais barato, pelo menos em tese. Na outra direção, as vantagens e as externalidades positivas oriunda da produção e uso de biocombustíveis.

Podemos nominar alguns desses benefícios:

- são uma fonte renovável
- possuem melhor balanço de CO₂ no ciclo de vida.
- contribuem para segurança energética.
- possibilitam melhor distribuição da renda..
- a multiplicidade de empresas, atores e países faz com que a indústria de biocombustíveis não seja concentradora como a do petróleo.
- favorecem a redução das principais emissões poluentes.
- geram mais emprego na cadeia produtiva.
- contribuem para a estruturação da base agrícola em países hoje importadores de alimentos.

No balanço entre pontos positivos e negativos, as políticas para inserção de biocombustíveis nas matrizes energéticas de cada país passam por diferentes estratégias no mundo. As mais comumente observadas são listadas na tabela a seguir, não sendo necessariamente excludentes entre si. No Brasil, onde a história de biocombustíveis é extensa, essas estratégias foram adotadas, ou em alguns casos ainda são, seja com o etanol ou com o biodiesel.

Tabela 1 - Principais estratégias para introdução de biocombustíveis no mercado

Estratégia	Descrição
Uso compulsório	Definição de mandatos que tornam o uso do biocombustível obrigatório para o consumidor, seja na sua forma pura (menos comum) ou em mistura com combustíveis derivados de petróleo. Outra variação desta estratégia é a compulsoriedade de venda ou a obrigação para que os elos da cadeia de produção e comercialização passem a disponibilizar o biocombustível para os consumidores finais. O uso obrigatório é uma estratégia de fácil implementação, porque um ato normativo cria automaticamente uma espécie de reserva de mercado para o produto. Em contrapartida, tende a transferir o maior custo diretamente para o consumidor.
Subsídio	Pode ser conceituado como um auxílio oficial, de natureza financeira, tributária ou creditícia. Trata-se de uma renúncia, na medida que o poder público decide incentivar um determinado produto, mediante a transferência monetária (direta ou indireta) para beneficiar um agricultor, um industrial, um comerciante e/ou um consumidor.
Tributação diferenciada	Tributação diferenciada é completamente diferente de subsídio. Não é uma transferência de receita creditícia, tributária ou financeira para um determinado elo da cadeia produtiva. Trata-se, sim, de uma prestação pecuniária compulsória, ou seja, um ou mais elos da cadeia produtiva continuam pagando o tributo, porém com alíquotas diferenciadas. Representa a ação estatal, via tributo, para melhor promover a alocação de recursos na sociedade, por considerar fatores outros que a simples lógica econômica não conseguiria lidar, tais como externalidades positivas e negativas. Por exemplo, bebida alcoólica tende a ter uma tributação maior do que a água, da mesma forma que armas e cigarros possuem alíquotas mais elevadas. O reconhecimento dessas externalidades é um papel clássico da tributação. O bem continua sendo tributado, porém de forma a incentivar ou a desestimular seu consumo, comparativamente a outro bem substituto. No caso dos biocombustíveis, a tributação diferenciada pode ser efetivada na matéria-prima e/ou no próprio biocombustível, ou mesmo de maneiras indiretas, como no veículo ou sobre a renda na cadeia produtiva.
Metas ambientais	Significa a definição de metas de produção e de consumo, a princípio não compulsórias. Parte da premissa que as externalidades ambientais, tais como redução das emissões de gases causadores do efeito estufa e de gases poluentes, precisam ser mais bem consideradas no processo de escolha do consumidor, porém de modo não obrigatório. Por essa razão, o efeito prático poderá ser nulo ou muito pequeno, caso o consumidor considere mais importante a lógica econômica.
Consciência do consumidor	Implementação de ações e medidas orientadas a influenciar a decisão do consumidor, para que este passe a considerar fatores outros que não somente o preço do produto. São estratégias que buscam trabalhar com a consciência sócio-ambiental, mediante ações de <i>marketing</i> , por exemplo.

A maior dificuldade para a introdução de biocombustíveis é o maior custo de produção, como comentado anteriormente. Todavia, não menos importante, há outros desafios com que as políticas públicas para biocombustíveis precisam lidar. Se essas fontes renováveis criam uma nova dinâmica no cenário energético mundial, é de se esperar resistências geopolíticas. A ordem atual das coisas, mais conhecido como *status quo*, é sempre um desafio, em qualquer setor, ainda mais no energético que é extremamente orientado e embasado durante anos em produtos fósseis. Isso não pode ser menosprezado. Apenas para ilustrar, vários dos conflitos bélicos nos últimos anos envolveram, direta ou indiretamente, o petróleo como pano

de fundo. Além disso, as principais economias mundiais são bastante dependentes deste recurso não renovável.

Às vezes fica fácil perceber a resistência ao novo. Recentemente, a pauta energética mundial foi contaminada pela discussão entre biocombustíveis e segurança alimentar. Surgiram diversos estudos controversos que apontavam os biocombustíveis como os únicos responsáveis pela alta de preço de alimentos no mundo. Entretanto, vários desses estudos foram elaborados, rapidamente, por instituições financiadas direta ou indiretamente pela indústria do petróleo e seus beneficiários. Não obstante, quando submetidos à análise científica mais rigorosa, esses estudos tem sido, um a um, desacreditados [11].

Existem também estudos que buscam mostrar, a partir de premissas polêmicas ou ainda não provadas e metodologias não devidamente testadas, que os biocombustíveis emitem mais poluentes que os derivados de petróleo e não contribuem para a solução do aquecimento global. Uma presente discussão é a mudança indireta no uso da terra (em inglês, *Indirect Land Use Change*, mais comumente representado pela sigla ILUC) [12]. Em interpretação extremada, significa dizer que o plantio de um hectare de cana na China representará necessariamente o desmatamento de um hectare na Amazônia, sendo esta ação indireta responsável por reduzir o eventual impacto positivo dos biocombustíveis na redução de emissões de CO₂. Este instrumento, usado indevidamente, pode configurar-se como uma barreira não-tarifária ao comércio de biocombustíveis.

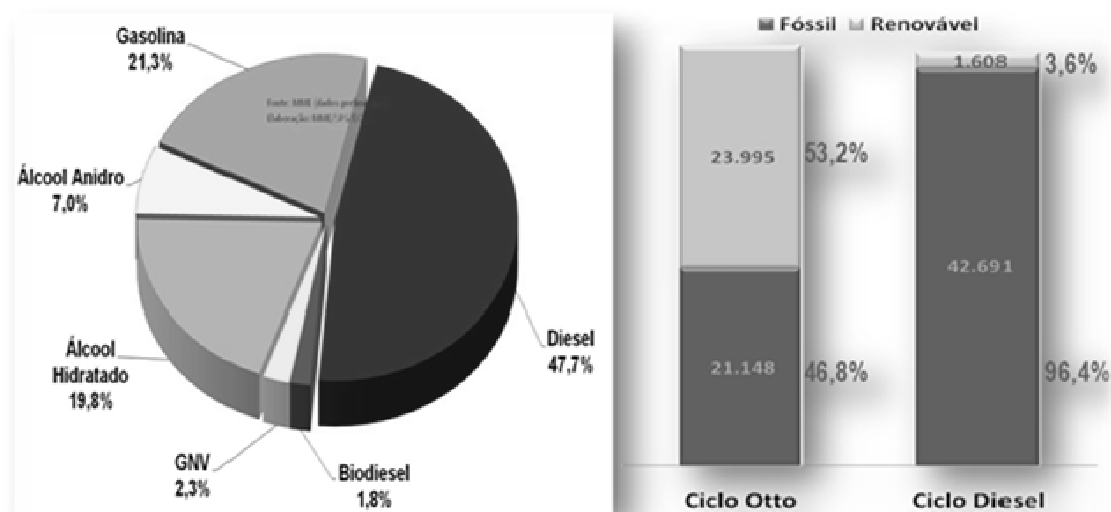
Aliás, há outras barreiras técnicas e tarifárias sobre os biocombustíveis. A exportação de etanol brasileiro paga uma sobretaxa de US\$0,54/galão (aprox. R\$0,24/litro) para entrar nos Estados Unidos. A especificação de qualidade para o biodiesel na Europa é direcionada para uma matéria-prima específica (colza), impondo dificuldade técnicas para a soja, o dendê e outras oleaginosas não produzidas em escala naquele continente.

Paralelamente a essas dificuldades da geopolítica, um desafio é que a matéria-prima para a produção de biocombustíveis advém quase sempre da agricultura e, por esta razão, é precificada no mercado não-energético. A título de exemplo, o preço do biodiesel de óleo de soja é bastante baseado na cotação do grão de soja. Este, por sua vez, é ditado pela demanda mundial de proteína de soja para consumo humano ou alimentação animal (produção suínos, aves e gado, assim como seus derivados, inclusive o leite). Ou seja, ainda que o óleo seja um subproduto da soja, seu preço é influenciado por variáveis que estão fora do mercado de energia. Ademais, a introdução de biocombustíveis representa incluir na matriz energética o risco agrícola (intempéries, risco climático, quebra de safra, pragas etc). Nesse contexto, a política pública deve ser também precisa para mitigar essas dificuldades.

A participação dos biocombustíveis

A matriz brasileira de combustíveis veiculares é aproximadamente dividida, meio a meio, entre combustíveis para uso em motores do ciclo Otto (gasolina, etanol e gás natural veicular) e para o ciclo de motorização Diesel (diesel e biodiesel). Por restrições normativas, o uso de motor Diesel em carros de passeio é proibido no nosso país. Sua utilização se dá essencialmente em veículos pesados ou agrícolas, a exemplo de caminhões, ônibus e tratores.

No ciclo Diesel, a participação renovável é apenas 3,6%, com o biodiesel, como ilustra a figura 5. Para o outro ciclo, o Otto, a participação renovável é majoritária: 53,2%. Esta, por seu turno, é composta por dois tipos de etanol. O primeiro é o anidro, aquele álcool etílico que é adicionado compulsoriamente a toda a gasolina comercializada ao consumidor final, em teores entre 20% a 25% (varia a depender das condições do abastecimento nacional, influenciado pelas sazonalidades e pelas movimentações entre safra e entressafra agrícola). Assim, nenhuma gasolina é vendida nos postos brasileiros sem etanol, no caso o anidro. O segundo tipo é o hidratado, comercializado na sua forma pura nos postos e que tem abastecido tanto os carros movidos cem por cento com motor a álcool quanto com motorização *flex fuel*.



Fonte: MME/SPG/DCR (fev/2010).

Figura 5 - Matriz de combustíveis veiculares no Brasil (2009).

A soma dos volumes comercializados no mercado interno com dos dois tipos de etanol (anidro e hidratado) atingiu 24 bilhões de litros em 2009, contra 19 bilhões de litros de gasolina. A proeminência do etanol é também percebida nas exportações: 3,2 bilhões de litros, totalizando ingressos de US\$ 1,34 bilhão. Com a gasolina, a exportação foi 2,5 bilhões de litros (saldo comercial de US\$965 milhões). No caso do diesel, ao contrário dos combustíveis do ciclo Otto, o país não é auto-suficiente. A importação líquida foi 2,3 bilhões de litros em 2009 (US\$1.129 milhões de déficit na balança de pagamentos). Se não houvesse o biodiesel, a situação seria pior. A importação poderia ter sido 70% maior, atingindo 3,9 bilhões de litros.

Exemplos de políticas governamentais para biocombustíveis

As políticas governamentais no Brasil foram essenciais para chegarmos à situação atual, em que os biocombustíveis têm presença marcante na matriz energética nacional. Políticas essas que perpassam a própria formação econômica do Estado brasileiro e estiveram revestidas de diferentes formas [13]. Tanto em termos de arcabouço regulatório e institucional que assegurava a tranquilidade necessária para a iniciativa privada realizar seus negócios, quanto em termos de metas de uso de biocombustíveis, políticas fiscais e creditícias, entre outras.

Aliás, isso faz parte de uma característica admirável da nossa história. O governo e a iniciativa privada tiveram papéis bem definidos. Enquanto o primeiro se preocupou de fato em estabelecer a política, ou o conjunto de regras, o segundo assumiu o risco intrínseco da vida empresarial, confiou nessas normas e fez seus investimentos. Às vezes o público estrangeiro, por não conhecer exatamente a experiência brasileira em biocombustíveis, pensa que é o governo brasileiro que produz etanol e biodiesel, que é o dono das unidades produtoras ou que a Petrobras é a empresa que produz, vende e exporta biocombustíveis. Isso não é verdade, ainda que esta companhia também atue em alguns elos da cadeia produtiva dos biocombustíveis, mas não de modo majoritário.

A Constituição Federal definiu que o petróleo, sim, é um bem da União, que poderá contratar com empresas estatais ou privadas a realização de sua exploração. Os biocombustíveis, todavia, não são um bem público nem um monopólio estatal. Estão no contexto dos princípios gerais da atividade econômica, fundada na livre iniciativa e na livre concorrência, entre outros conceitos, como propriedade privada, observada sua função social.

Podemos dizer que biocombustíveis no Brasil são uma bem sucedida atuação concertada entre o interesse público e o privado. Afinal, não é por acaso que houve, há e haverá tantos investimentos relacionados com a produção de biocombustíveis. No caso do etanol, ou melhor, da cultura sucroalcooleira, são quase cinco séculos de narrativa ou, porque não assim dizer, de parceria público-privada. Acredito que não existam no mundo muitas experiências de uma atividade econômica com tamanha história.

No biodiesel, embora mais recente do ponto de vista particular deste biocombustível, não podemos deixar de esquecer nossa experiência na produção de oleaginosas. A produção de soja, nos últimos anos, desde 1976, expandiu-se a uma taxa média de 5,3% a.a., de acordo com dados da CONAB/MAPA [14]. Sua área plantada alcança 22 milhões de hectares, contra aproximadamente 8 a 9 milhões de hectares para cana-de-açúcar, das quais apenas metade é destinada à produção de etanol. Ademais, é bom lembrar e ressaltar que o óleo é um subproduto da soja, ao contrário do que muita gente pensa. O principal derivado da soja é o farelo, usado na alimentação humana e animal e responde, em peso, por cerca de 80% do grão. A crescente oferta, competitividade e exportação de aves e suínos pelo país se devem, em boa medida, à produção de farelo de soja.

A seguir são apresentados exemplos de políticas governamentais para biocombustíveis, que melhor elucidam o papel da ação estatal.

AS CAPITANIAS HEREDITÁRIAS

Por volta de 1530, passado o apogeu da política extrativista do pau-brasil, o rei Dom João III dividiu o então território brasileiro em quinze faixas de terra lineares, dispostas entre o Oceano Atlântico e o meridiano estabelecido pelo Tratado de Tordesilhas. A posse (e não a propriedade) dessas terras – as Capitânicas Hereditárias – foram repassadas a donatários da nobreza de Portugal. Dentro da área de cada Capitania, o donatário era o comando máximo, uma vez que estava investido da autoridade delegada por Portugal – o poder central. Podia, inclusive, decretar pena de morte. Recebia também alguns privilégios, tais como isenção de taxas, recebimento de parte das rendas devidas à Coroa Portuguesa e a propriedade de uma parcela de terras (uma sesmaria de dez léguas de costa, na medida da época).

Em contrapartida a esses benefícios, o capitão donatário ficava obrigado a cumprir determinadas condições, entre eles proteger o território contra invasões estrangeiras e administrar e desenvolver a região. Nesse sentido, devia criar vilas, permitir o uso das terras a quem desejasse cultivá-las e, ressaltando-se, construir engenhos de açúcar. Este era um produto que a cada dia passava a ser mais apreciado pelo paladar do consumidor europeu e, desse modo, interessava a Portugal, que passou a estimular o plantio de cana.

Estabelecia-se, assim, no século XVI, a primeira política governamental para aquilo que, mais tarde, iria se tornar a base para a indústria brasileira do etanol. É mais interessante ainda observar que, das quinze Capitânicas iniciais, apenas duas tiveram sucesso: a Capitania de Pernambuco e a de São Vicente. Os historiadores são enfáticos ao afirmarem o motivo do êxito dessas duas Capitânicas e do fracasso das demais [6]. Sua prosperidade se deve à bem sucedida introdução e expansão da cana-de-açúcar. Ainda hoje, o estado de São Paulo (ex-Capitania de São Vicente) é a principal área de produção de cana no país. Por sua vez, Pernambuco se destaca em relação a outros estados nordestinos.

ATOS DO PERÍODO IMPERIAL APÓS A INDEPENDÊNCIA

A independência brasileira de Portugal data do ano de 1822. Instalou-se em seguida o regime monárquico, sendo Dom Pedro I o primeiro imperador do Brasil. Nesse período imperial, no intervalo de 67 anos até a proclamação da República em 1889, foram publicados alguns Decretos para promover a cultura da cana-de-açúcar, já sob amparo da primeira constituição brasileira (promulgada em 25 de março de 1824).

O primeiro deles foi o Decreto nº 2.687, de 6 de novembro de 1875, com a rubrica do então Imperador Dom Pedro II, após proposição do Barão de Cotegipe [13]. Como uma política governamental, autorizava o Banco de Crédito Real a conceder financiamento para a instalação de engenhos de açúcar, com condições e juros específicos para estimular o setor. Outro exemplo histórico interessante foi o Decreto nº

8.363, de 31 de dezembro de 1881. Neste, Dom Pedro II concedeu privilégio por dez anos (uma espécie de direito de patente da época) para o “aparelho” destinado ao tratamento da cana-de-açúcar para fabricação de etanol, inventado por Alvaro Rodovalho Marcondes dos Reis, Léor Joly e Joseph Latteur [13].

Devemos também citar o Decreto nº 10.100, de 1 de dezembro de 1888, já há menos de um ano da proclamação da República. Este instituía o regulamento para disciplinar a atividade de produção de açúcar, incluindo obrigações para o dono do engenho e critérios para financiamento (garantias, juros etc).

ATOS DA FASE INICIAL DA REPÚBLICA

A primeira ação afeta à cana-de-açúcar que temos registro nesse período é o Decreto nº 314, de 16 de maio de 1891. O então Presidente da República, Manoel Deodoro da Fonseca, autorizou certos empresários a constituírem a Companhia Alcoólica da Bahia S.A. [13]. Posteriormente, outros atos semelhantes foram publicados, autorizando empresas a produzirem ou comercializarem etanol em outros lugares, como por exemplos os Decretos nos 387 e 392 (junho de 1891) e 436 (julho de 1891).

Na questão específica de mistura de etanol na gasolina, temos o Decreto nº 19.717, de fevereiro de 1931, de Getúlio Vargas [14]. Esta norma estabeleceu a aquisição obrigatória de etanol de origem nacional, na proporção mínima de 5% da gasolina importada. O agente compelido a fazer essa aquisição compulsória era o próprio importador de gasolina. Trata-se, desse modo, do primeiro ato formal que sinalizou a adição compulsória de anidro à gasolina. Por meio deste, ainda se concedeu benefícios tributários para a construção de usinas no país e para a importação de veículos que pudessem funcionar com um nível de mistura álcool-gasolina (na época, caracterizado pela taxa de compressão do motor).

O PRÓ-ÁLCOOL

A história do Programa Nacional do Álcool – Pró-álcool, com seus acertos, aprendizados e, porque não, erros também, merece atenção. Essa iniciativa é considerada, hoje, a experiência mundial mais bem sucedida na substituição, em larga escala, dos combustíveis derivados de petróleo por biocombustíveis. Isso é válido ainda que se entenda que, por muito tempo, tenha sido vista de maneira “atravessada” pelo restante do mundo. Ou mesmo como uma atitude isolada de um país que não fazia parte do eixo central da corrente econômica e cultural mundial.

A criação do programa, em 1975, foi uma típica política governamental, no sentido mais formoso do termo. Partiu do entendimento que vinha deste a formação do Estado Moderno e da introdução da cana-de-açúcar no Brasil, isto é, que a cana e o etanol é um bem privado, mas de utilidade pública. A palavra “formoso” foi utilizada por considerar que se aproxima muito bem da definição conceitual de política pública e, ainda, por respeitar que se trata de um exemplo bem sucedido.

Desde sua criação até os dias atuais, por mais diferentes que fossem os governos e suas orientações partidárias, o Pró-álcool envolveu diretamente a política pública para o estabelecimento de regras que buscavam conciliar interesses de atores privados. Interesses esses que, desenvolvidos de maneira adequada, passavam a se revestirem no caráter de um bem comum e público, com benefícios e externalidades positivas para o país como o todo, ou seja, para a própria sociedade.

O Pró-álcool surgiu por uma necessidade econômica bastante específica. A Organização dos Países Exportadores de Petróleo – OPEP, em 1973, impôs o aumento de 300% no preço deste produto. A cotação passou da faixa de US\$2 a US\$3 para mais de US\$11 por barril. Naquela ocasião, por um lado, o Brasil era extremamente dependente de petróleo e se deparava, a cada dia, com aumento da despesa com importação. Por outro, o preço do açúcar no mercado internacional caía, reduzindo a receita oriunda da exportação. Além de a energia ser um bem estratégico para qualquer nação, o resultado é que o Brasil teve suas contas externas deterioradas rapidamente, em especial quando, logo depois, em 1979, deparou-se com o segundo choque do petróleo. O preço deste energético ultrapassou US\$35 por barril (equivalente, a valores presentes, a um petróleo de US\$100/barril) [15].

O Pró-álcool, assim, foi desenhado do ponto de vista econômico para contribuir de forma dupla. Primeiramente reduzia o dispêndio com petróleo importado, ao substituir a gasolina por um produto renovável e de produção nacional. Em segundo lugar, porque tendia a melhorar a condição do preço do açúcar no cenário internacional, na medida em que diminuiu sua oferta (parte da cana passaria a ser destinada à produção do etanol).

Mas não podemos nos furtar de falar sobre outros pontos de vistas tão essenciais quanto o econômico. Na consideração energética, diversificar as fontes de suprimento é estratégico porque contribui decisivamente para a segurança do abastecimento. Cumpre destacar que energia é um dos pilares fundamentais para qualquer atividade. Perpassa nossas residências e as atividades comerciais e industriais. Não menos relevantes são os impactos positivos nos campos social, pela geração de emprego e melhor distribuição de renda do que a indústria do petróleo, e no ambiental, por ser uma energia renovável e contribui para a redução dos principais poluentes e de gases causadores do efeito estufa. Entendo que isso já era válido desde a época da criação do Pró-álcool, ainda que os motivos sociais e ambientais tenham sido sombreados pela dimensão econômica que se fazia mais urgente.

A partir desse entendimento de que a criação do Pró-álcool foi uma política pública, formou-se um conjunto de ações e regras para melhor estimular a conciliação desses interesses privados com a visão pública. Estamos falando de medidas para ampliar a base produtiva de etanol, seja para expansão do plantio quanto da atividade industrial, com instalação de mais destilarias. Isso envolveu instrumentos fiscais e creditícios, por exemplo. Outras medidas estavam relacionadas com estimular a base de consumo, com a introdução de veículos que pudessem demandar etanol de forma mais apropriada. Houve ainda ações para melhorar o relacionamento entre a oferta e a demanda, que envolvia logística de distribuição e instrumentos para fazer com que o etanol saísse da usina e chegasse até o consumidor.

Nesse contexto, destaca-se o Decreto nº 76.593, de novembro de 1975. Instituiu formalmente o Pró-álcool [13] e estabeleceu que a rápida expansão da produção de etanol seria incentivada com ênfase na expansão da oferta de matérias-primas que, além da cana, incluía na época a mandioca. Posteriormente, esta se mostrou não competitiva em relação à cana. Como parte integrante desde Decreto estavam o “Regulamento das Operações Rurais” e o “Regulamento das Operações Industriais”, com definição de linhas especiais de crédito para incentivar o aumento da produção.

ADIÇÃO COMPULSÓRIA DE ETANOL NA GASOLINA

Entendo que o maior incentivo que qualquer produto pode ter é a garantia da existência de mercado firme, cujo consumo é obrigatório por imposição normativa. Sua demanda estará sempre assegurada, independentemente do seu preço. É isto que ocorre há anos com o etanol anidro adicionado à gasolina. Com a obrigatoriedade, o produtor de etanol concorre tão somente com outro produtor de etanol. Deixa de existir a competição entre o biocombustível e a indústria do petróleo.

Essa adição compulsória de etanol anidro à gasolina vem desde a época de criação do Pro-álcool. O último ato legal que disciplinou tal matéria foi a Lei nº 8.723, em 1993, ao tratar da redução de emissão de poluentes por veículos automotores. Estabeleceu em 22% o percentual obrigatório, podendo variar entre 20% e 25% por ato do Poder Executivo. Ao regulamentar essa matéria, também pela última vez, com o Decreto nº 3.966, de outubro de 2001, o chefe do Poder Executivo delegou ao Ministro de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) a competência para fixar esse percentual, ouvido previamente o Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool (CIMA).

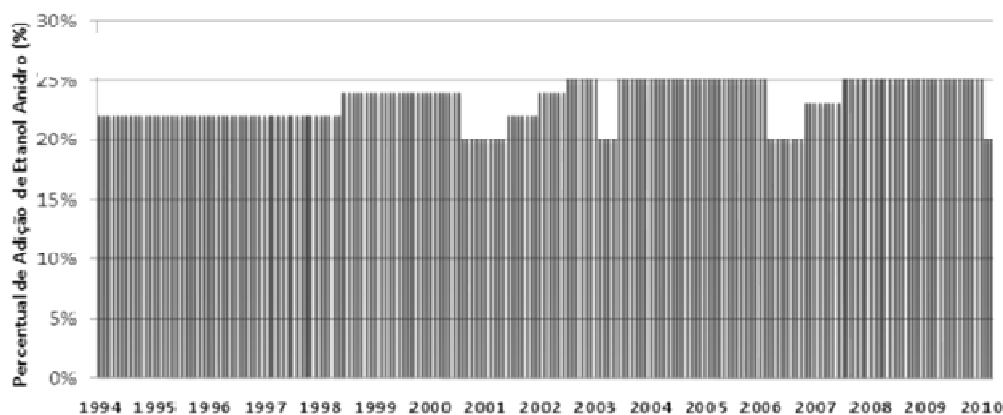
Antes disso, entretanto, quem tinha atribuição para estabelecer o percentual de anidro na gasolina era o Departamento Nacional de Combustíveis (DNC), então vinculado ao Ministério da Infra-Estrutura, que na época englobava as pastas de energia, minas e metalurgia, transportes e comunicações. Foi desse modo que instituiu o Decreto nº 99.244, de maio de 1990.

Indiferentemente de quem possui ou possuía a competência para fixar o percentual obrigatório, ressalta-se que a existência de um mercado firme foi essencial para a sobrevivência do etanol na década de 1990.

Naquele tempo os dois tipos de etanol – anidro e hidratado – eram consumidos em larga escala. O primeiro de modo compulsório, como mencionado, e o segundo de maneira livre, por decisão do próprio consumidor (proprietário do carro com motor a álcool).

Ocorre que os preços do petróleo caíram e, paralelamente, os do açúcar subiram. Somando-se a outros motivos, como a própria instabilidade econômica que se arrastava no país, deixou de ser atrativo usar o etanol hidratado. O consumo de hidratado caiu progressivamente, praticamente na mesma taxa de renovação da frota veicular. O maior prejudicado foi o proprietário do carro à álcool, que não tinha alternativa. Ou melhor, passava a ter opção somente quando decidia vender seu carro e comprar outro, agora movido à gasolina. Essa experiência foi muito ruim porque gerou uma crise de confiança. Tanto é que o consumo de hidratado só parou de cair em 2004, muito tempo depois, por uma razão peculiar: o surgimento do carro *flex fuel*. O consumidor voltava à cena, porém com poder de escolher um combustível ou outro, sem necessidade de trocar o veículo.

Dado esse período “escuro” para o hidratado, há quem considere que o etanol só continuou existindo porque existia o anidro. E, mais do que isso, porque sua adição à gasolina ocorria de modo obrigatório, independentemente de seu preço baixo ou elevado. Para finalizar essa parte, a figura 6 apresenta como evoluiu no tempo esse percentual de mistura obrigatória. As mudanças de percentual nesse período, entre 20% e 25%, foram feitas basicamente em função das condições de abastecimento, por sua vez influenciadas pela natureza de um bem que depende de safra e entressafra agrícola. Registra-se que não há no mundo experiência de uso de percentuais de etanol nessa magnitude, de modo tão amplo, em toda a frota circulante e disponível para venda em quase todos os postos de combustíveis.



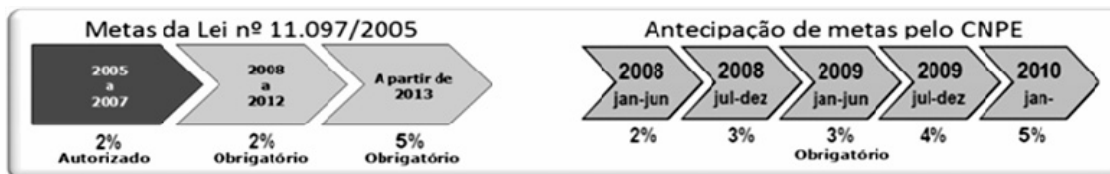
Fonte: MME/SPG/DCR.

Figura 6 - Evolução do percentual de etanol anidro à gasolina.

ADIÇÃO COMPULSÓRIA DE BIODIESEL NO DIESEL

A lei do biodiesel (Lei nº 11.097/2005, resultado da conversão da Medida Provisória nº 214/2004) introduziu-o na matriz energética brasileira e fixou em 5%, em volume, o percentual mínimo obrigatório de sua adição ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional, a vigorar a partir de 2013. Estabeleceu também um percentual intermediário de no mínimo 2%, igualmente obrigatório, desde janeiro de 2008, conforme ilustra a figura 7. Antes disso, entretanto, o biodiesel podia ser consumido, mas inexistia a compulsoriedade de mistura.

Esse diploma ainda atribuiu competência ao CNPE para antecipar as metas, observados alguns critérios. São os seguintes: a) a disponibilidade de oferta de matéria-prima e a capacidade industrial; b) a participação da agricultura familiar; c) a redução das desigualdades regionais; d) o desempenho dos motores; e) as políticas industriais e de inovação tecnológica. Baseado nessa previsão, o CNPE assim decidiu por antecipar percentuais maiores que 2%. Atualmente, desde de janeiro de 2010, a mistura em vigor contém 5% de biodiesel (antecipação de 3 anos).



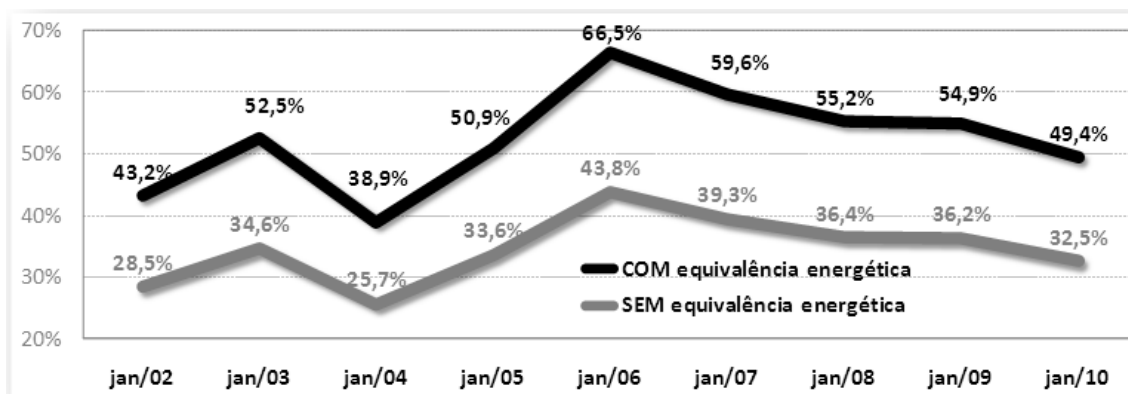
Fonte: MME/SPG/DCR.

Figura 7 - Percentuais para adição de biodiesel.

Com obrigatoriedade de mistura, haverá sempre a demanda assegurada, haja vista a robustez do diesel na matriz energética brasileira. O produtor de biodiesel passa a concorrer tão somente com outro produtor para colocação do seu produto no mercado. Independe do preço do diesel de petróleo, ou da competitividade do renovável em relação ao fóssil.

TRIBUTAÇÃO DIFERENCIADA NO ETANOL

O etanol no Brasil é um produto que há muito não é subsidiado, mas que possui tributação diferenciada em relação à gasolina. Trata-se de uma política tributária que considera as externalidades do renovável comparativamente ao seu substituto fóssil, com o objetivo de influir na formação do preço final para melhor orientar a decisão do consumidor. A figura a seguir apresenta a evolução do tamanho da carga tributária do etanol na esfera federal, comparativamente à gasolina “C” ao consumidor final, para a cidade de Brasília-DF.



Fonte: Elaboração do autor com base no levantamento de preços da ANP [19] e tributação vigente.

Figura 8 - Dimensão da carga tributária federal no etanol em relação à gasolina.

Observa-se que a tributação incidente sobre o etanol tem sido historicamente menor. No gráfico, a curva azul representa a comparação direta, sem considerar a equivalência energética entre os dois combustíveis. Significa exatamente o tamanho da carga sobre o etanol dividido pela carga sobre a gasolina, ambas em R\$/litro. Parte, assim, da premissa que esses combustíveis, em tese, são iguais em termos energéticos. Nesse caso, em janeiro de 2010, por exemplo, a tributação federal no etanol representou 32,5% do total incidente sobre a gasolina.

O resultado muda um pouco quando se incorpora a equivalência energética de cada combustível. O poder calorífico do etanol hidratado é 6.300 kcal/kg e da gasolina “C” (em mistura com 25% de etanol anidro) é 9.554 kcal/kg, ou seja, em cada litro de gasolina há mais energia contida do que em um litro de etanol. Desse modo, a vantagem relativa da tributação reduzida em prol do etanol tende a ser menor. Essa é na verdade uma situação mais real, pois considera o fato de que o carro a etanol consome mais combustível do que aquele movido à gasolina, para percorrer o mesmo trajeto. Ainda assim, há diferencial favorável (curva vermelha): em janeiro de 2010, considerando-se a equivalência energética, a tributação federal no etanol foi 49,4% daquela incidente sobre a gasolina. Ou seja, praticamente metade em termos práticos.

ALÍQUOTAS DIFERENCIADAS NO BIODIESEL

O modelo tributário federal para o biodiesel (Lei nº 11.116, de 2005) foi desenhado para permitir alíquotas diferenciadas de Pis/Pasep e Cofins, em função da matéria-prima utilizada na produção, da região de cultivo dessa matéria-prima e do tipo de seu fornecedor (agricultura familiar ou agronegócio). Essa tributação incide uma única vez na cadeia produtiva e o contribuinte é o produtor industrial de biodiesel. As alíquotas vigentes são mostradas na tabela 2 e comparadas com a carga tributária federal incidente sobre o diesel de petróleo.

Tabela 2 - Carga tributária sobre o diesel e o biodiesel (abr/2010)

Combustível		Carga tributária federal (R\$/litro)
DIESEL (Cide, Pis/Pasep e Cofins)		0,21800
BODIESEL (Pis/Pasep e Cofins)	alíquota Padrão	0,17795
	com agronegócio e com mamona ou palma no Norte, Nordeste e Semiárido	0,15150
	com agricultura familiar no Centro-Oeste, Sudeste e Sul, independentemente do tipo de matéria-prima	0,7002
	com agricultura familiar no Norte, Nordeste e Semiárido, independentemente do tipo de matéria-prima	0,0 (zero)

Fonte: Elaboração do autor com base na tributação vigente.

Para ter acesso aos dois menores níveis de tributação (“d”), o produtor industrial de biodiesel deve possuir o Selo Combustível Social. É o instrumento adotado pelo governo federal para incorporar a agricultura de pequena escala na cadeia produtiva do biodiesel, sem, entretanto, excluir a participação do agronegócio. Para obter o selo, o produtor de biodiesel deve cumprir uma série de requisitos (Decreto nº 5.297/2004 e Instrução Normativa MDA nº 1/2009). Os principais são:

- adquirir de agricultor familiar uma parcela mínima de matéria-prima (15% no Norte e no Centro-Oeste e 30% no Nordeste, Semiárido, Sudeste e Sul).
- celebrar contratos com os agricultores familiares, especificando as condições comerciais que garantam renda e prazos compatíveis com a atividade, conforme requisitos estabelecidos pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário.
- assegurar assistência e capacitação técnica aos agricultores familiares.

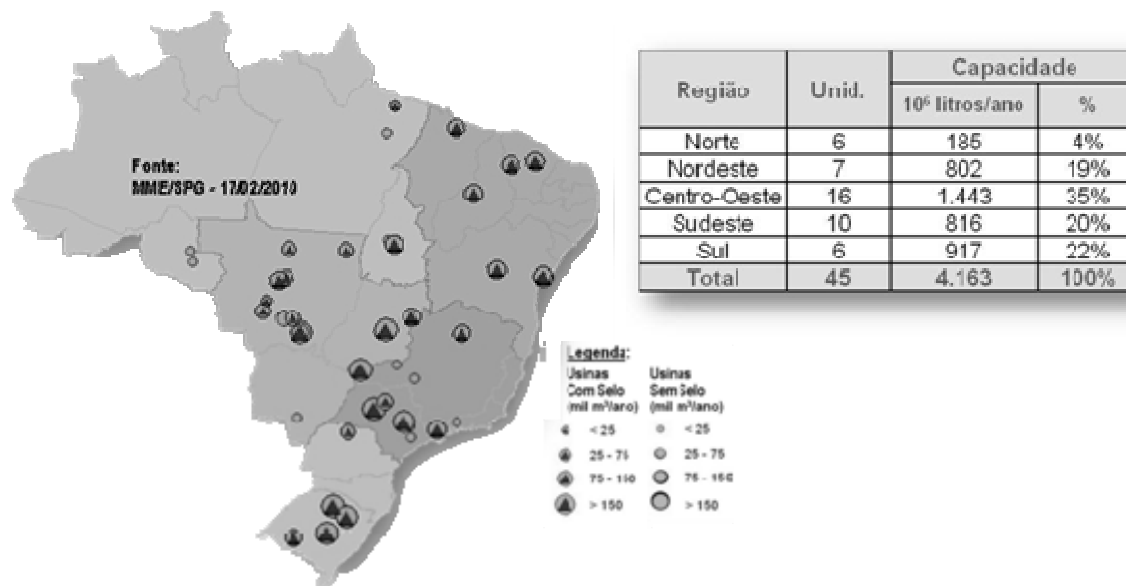
Uma última observação é que a tributação diferenciada do biodiesel é aplicada proporcionalmente ao custo de aquisição das matérias-primas utilizadas no período. Assim, a parcela que não tem direito à alíquota diferenciada pagará o valor máximo do tributo. Para exemplificar, hipoteticamente, se uma usina produziu 13 milhões de litros de biodiesel a partir da aquisição de 10 milhões de litros de óleo de soja do agronegócio a R\$20 milhões e 3 milhões de óleo de girassol da agricultura familiar a R\$10 milhões (no Sul), a tributação do biodiesel seria a seguinte:

$$T = [\text{alíquota padrão}] \times \text{R}\$20.000.000 / \text{R}\$30.000.000 \\ + [\text{alíquota reduzida}] \times \text{R}\$10.000.000 / \text{R}\$30.000.000.$$

$$T = 0,178 \times 66,7\% + 0,070 \times 33,3\%.$$

$$T \approx 0,142 \text{ (em R}\$/\text{litro)}.$$

A partir dessa diferenciação tributária, que é um dos estímulos para indústria buscar integrar a agricultura familiar, constata-se que a maioria das usinas de biodiesel assim o fez. Mais de 90% da capacidade de produção instalada é detentora do Selo Combustível Social. A figura 9 ilustra a distribuição dessas usinas pelo território nacional, que totalizam atualmente 45 unidades.



Fonte: MME/SPG/DCR – Boletim Mensal de Combustíveis Renováveis – Jan/2010 [16].

Figura 9 - Distribuição da capacidade instalada de produção de biodiesel.

TRIBUTAÇÃO DIFERENCIADA SOBRE OS AUTOMÓVEIS

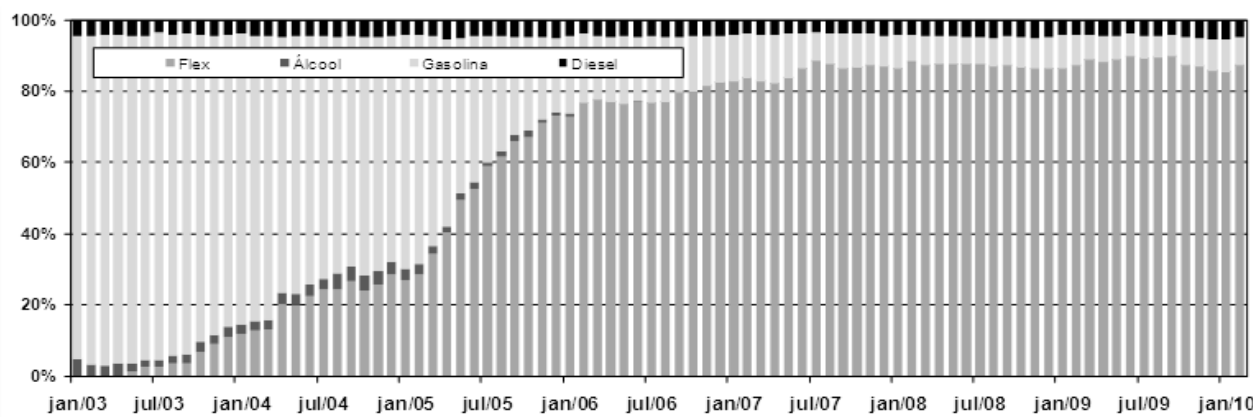
Sobre os veículos há incidência do IPI (Imposto de Sobre Produtos Industrializado), cuja alíquota é variável em função do porte do motor e do tipo de combustível que utiliza. O objetivo é permitir a tributação diferenciada e, desse modo, influenciar no processo de escolha do consumidor ao comprar um veículo, assim como na decisão do fabricante. Isso já vem há bastante tempo, na verdade desde o início do Pró-álcool, quando os carros movidos a 100% de etanol hidratado tinham menor carga tributária do que aqueles a gasolina. Atualmente, com os veículos *flex fuel*, isso se mantém. A Tabela 3 mostra que a alíquota de IPI sobre os carros a etanol ou *flex fuel* é dois pontos percentuais menor do que os movidos exclusivamente a gasolina.

Tabela 3 - Alíquotas de IPI sobre automóveis (abr/2010).

Motorização	Combustível	Alíquota IPI (%)
1.0	Gasolina	7,0%
	Etanol / Flex	5,0%
2.0	Gasolina	13,0%
	Etanol / Flex	11,0%

Fonte: Elaboração do autor com base na tributação vigente.

Essa diferença de 2%, com incidência sobre uma base de cálculo de um veículo a R\$25.000, equivale a quinhentos reais. Seria em tese mais do que suficiente para cobrir um eventual custo maior pela adoção da tecnologia bi-combustível. Essa sinalização depositada pela tributação diferenciada é um fator importante e que contribuiu para a rápida expansão das vendas de carros *flex fuel* no mercado interno. A participação de mercado passou de 80% após três anos do seu lançamento, em 2003, conforme ilustra a figura 10. Foram 10 milhões de unidades vendidas e, hoje, são poucos os modelos de carros que não possuem a opção *flex*.

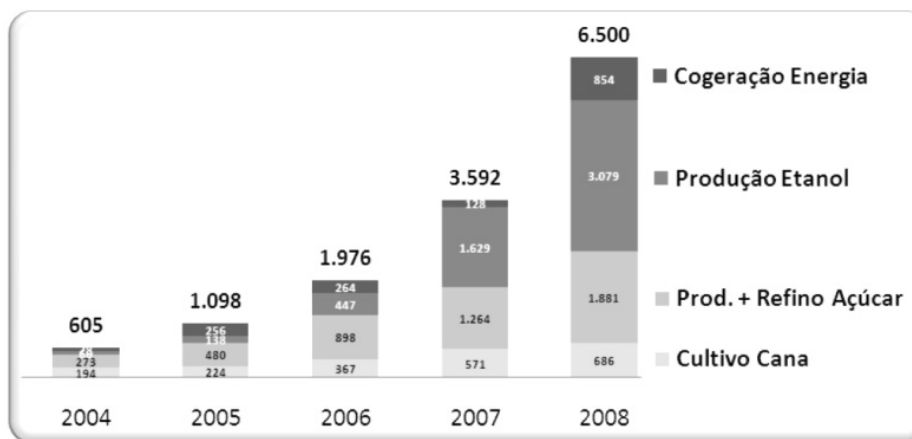


Fonte: MME/SPG/DCR – Boletim mensal de combustíveis renováveis – Jan/2010 [16].

Figura 10 - Participação das vendas de veículos por tipo de combustível.

FINANCIAMENTO PÚBLICO PARA EXPANSÃO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO

Nos últimos anos, os desembolsos de financiamento do BNDES para a expansão do setor sucroalcooleiro aumentou mais de dez vezes. Em 2004, foi em torno de R\$600 milhões e, em 2008, alcançou R\$6,5 bilhões, como apresenta a próxima figura. Deste montante, a maior parte foi para a produção industrial do etanol e cogeração de energia elétrica a partir da queima do bagaço (cerca de R\$4 bilhões).



Fonte: BNDES. Elaboração MME.

Figura 11 - Desembolsos para financiamento do BNDES.

Além da disponibilização de financiamento público, há de se enfatizar também o financiamento privado, o ingresso de capital estrangeiro direto e o próprio reinvestimento, que tem sido elevado ultimamente. Como resultado, a produção de etanol se expandiu de 14 para 24 bilhões de litros entre 2004 e 2009.

PRONAF BIODIESEL

O Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) financia projetos individuais ou coletivos que gerem renda para agricultores familiares e assentados da reforma agrária. De acordo com informações do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), responsável pela coordenação, o programa possui as mais baixas taxas de juros dos financiamentos rurais, além das menores taxas de inadimplência entre os sistemas de crédito do país. Envolve microcrédito rural, linhas de crédito para custeio da safra e investimento agropecuário e agroindustrial. No biodiesel, o programa financia a produção de oleaginosas e contribuiu para a estruturação de arranjos produtivos que envolvam a agricultura familiar, inclusive quanto à assistência técnica e extensão rural (ATER) e ao seguro safra.

ZONEAMENTO AGRÍCOLA PARA CANA-DE-AÇÚCAR E OLEAGINOSAS

O zoneamento agrícola envolve a indicação das áreas mais adequadas para o plantio de determinada cultura. Leva em consideração os fatores edafoclimáticos para recomendar a melhor época de plantio, tipo de solo e as cultivares apropriadas. O objetivo é minimizar os riscos de ocorrência de adversidades climáticas coincidentes com as fases mais sensíveis das culturas. Por essa razão, é uma ferramenta que serve de base para a concessão de crédito agrícola, seja por instituições bancárias públicas ou privadas.

Para a cana-de-açúcar, no caso do etanol, e as principais oleaginosas que podem ser usadas na produção de biodiesel, como soja, dendê, mamona, girassol, canola e outras, a política governamental estabeleceu os devidos zoneamentos agrícolas. No caso da cana-de-açúcar, a inovação é o zoneamento agroecológico (ZAE). Mais do que indicar as áreas adequadas do ponto de vista de clima e condições de solo, passa a considerar as restrições ambientais.

Lançado em setembro de 2009, o ZAE visa à expansão sustentável da cana-de-açúcar para produção de açúcar e etanol. Foram excluídas, por exemplo, as áreas com cobertura vegetal nativa, os biomas Amazônia e Pantanal, as áreas de proteção ambiental, as terras indígenas, remanescentes florestais, dunas, mangues e reflorestamentos. O ZAE afastou também as áreas com declividade superior a 12%, observando-se a premissa da colheita mecânica e sem queima para as áreas de expansão. Foi publicado pelo Decreto nº 6.961/2009 e inclui o Projeto de Lei nº 6.077/2009, em tramitação no Congresso, haja vista as limitações impostas à atividade privada.

LEGISLAÇÃO ESTÁVEL

A legislação não é estática, evolui no tempo. Ainda, para estimular corretamente o investidor, precisa ser estável, clara e suficiente e ter um norte bem definido, independentemente das correções que se fizerem necessárias no caminho, tanto em períodos de “céu de brigadeiro” quanto de turbulências. No Brasil, já se passaram sistemas de governos distintos (monarquia, ditadura, democracia), orientações partidárias diferentes (direita, esquerda, centro), movimentos econômicos mundiais de alta e de baixa, mas mesmo assim houve base legal que apoiava de alguma forma o investimento no setor sucroalcooleiro e, mais recentemente, no biodiesel, no governo do Presidente Lula.

A estabilidade normativa para o investimento é sinalizada, por exemplo, quando se define em lei *stricto sensu* que a expansão dos biocombustíveis na matriz energética brasileira é um objetivo Política Energética Nacional (Lei nº 9.478, de 1997). Essa mesma norma foi aquela que criou e definiu as competências do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e da Agência Nacional do Petróleo (ANP), Gás Natural e Biocombustíveis, ambos comentados anteriormente. Ademais, há regras claras para a regulação, a fiscalização e a aplicação de sanções aos infratores do abastecimento de combustíveis, considerado de utilidade pública (Lei nº 9.847, de 1999). Essa legislação citada, embora com pouco mais de dez anos, não significa a inexistência de preceitos anteriores. Havia, sim, sendo esses últimos atos apenas aperfeiçoamentos ou correções de rotas.

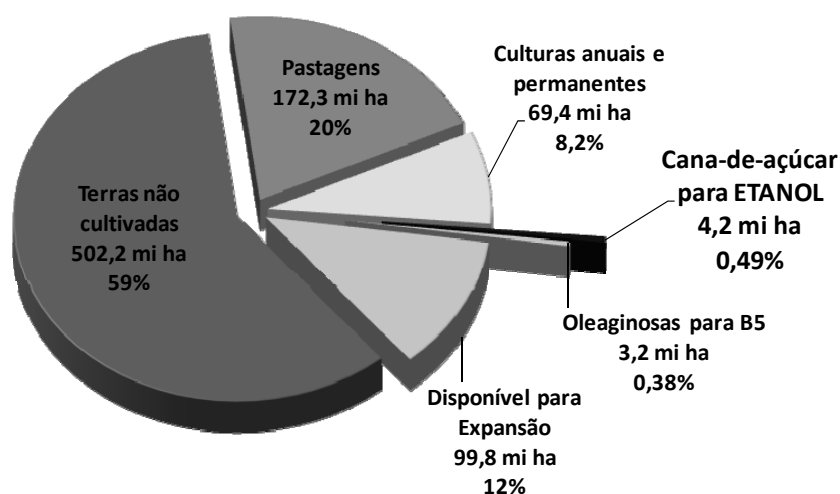
As próprias misturas etanol-gasolina e biodiesel-diesel estão estabelecidas em lei (Lei nº 8.723, de 1993, e Lei nº 11.097, de 2005), onde o incentivo da obrigatoriedade da adição de biocombustíveis está nítido e

certo. Certamente, a base para a segurança do investimento seria diferente caso a mistura se desse de maneira não compulsória ou estabelecida por meio de metas ditadas por um órgão ou outro, sem ter passado pela chancela do Congresso Nacional.

O uso do solo para produção de biocombustíveis

A ocupação do território brasileiro é ilustrada na figura 12. São 851 milhões de hectares, dos quais menos de 1% é ocupado por culturas para produção de biocombustíveis. Em especial, na safra 2009/10, 4,14 milhões de hectares (0,49%) com cana-de-açúcar destinada à produção de etanol, tanto combustível quanto para outros fins, como industrial e bebidas. Existem mais 3,40 milhões de hectares com cana, mas destinada à fabricação de açúcar.

Com oleaginosas, particularmente a parcela soja para produção de biodiesel para B5, estima-se que são usados 3,2 milhões de hectares (0,38%), de uma área total de 23,2 milhões de hectares com esta cultura. Ou seja, apenas 13,8% da soja nacional são destinadas à produção de biodiesel. Isso não significa dizer que toda essa área só seja usada para biodiesel. Pelo contrário, essa parcela de 13,8% produz grão, por sua vez composto por uma parte de óleo (18%) e outra de farelo (82%). Assim sendo, apenas um pequeno pedaço (o óleo) de uma pequena parcela da área cultivada com soja é destinado ao biodiesel. A maior parte (o farelo) é formada basicamente por proteína para alimentação humana e animal, sendo, portanto, direcionada ao mercado não-energético.



Fonte: CONAB/MAPA [14] e IBGE [17]. Elaboração MME.

Figura 12 - Uso da terra no Brasil.

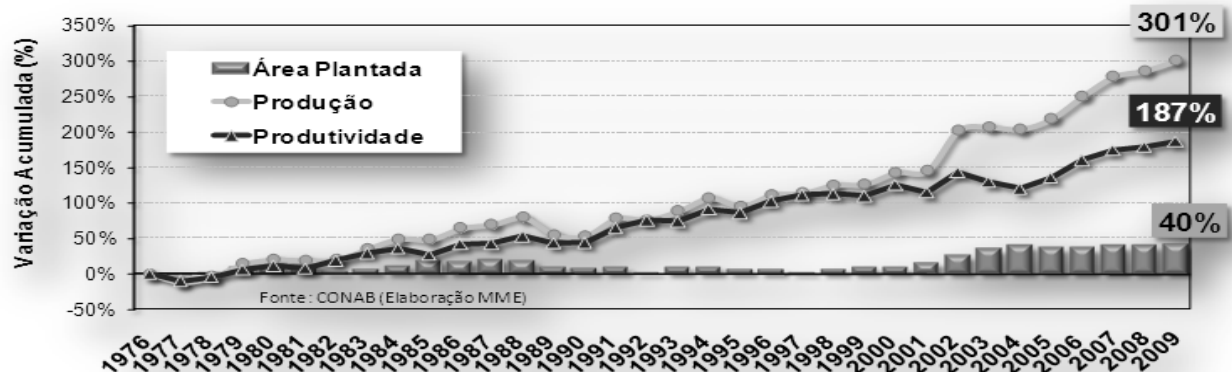
Os demais plantios anuais e permanentes, incluindo a cana e a soja que não são destinadas a biocombustíveis, somam 69,4 milhões de hectares. Há, ainda, uma grande quantidade de terras ocupadas por pastagens (172,3 milhões de hectares). Nessa questão, cabe ressaltar que o Brasil, em termos comerciais, possui o maior rebanho bovino no mundo. São 185,2 milhões de cabeças, contra 105 na China (2º colocado) e 93 nos EUA (3º colocado) [18]. É líder também na exportação de carne, ainda que em termos de produção ocupemos a segunda posição, atrás dos Estados Unidos.

Entretanto, temos aí um fato interessante. O rebanho brasileiro é quase o dobro do norte americano, mas produzimos menos carnes do que eles. Além de menor produtividade, resalta-se nossa baixíssima eficiência em termos de uso do solo com a pecuária: aproximadamente 0,95 boi por hectare. Em países onde a produção se dá de forma menos extensiva, com melhor aproveitamento do solo, não é de se estranhar taxas acima de 2 cabeças por hectare.

É nessa questão do melhor aproveitamento da área de pastagens que se encontra o grande potencial para expansão da agricultura brasileira. Primeiramente, são áreas já antropizadas. Em segundo lugar, estão localizadas próximas do centro de consumo ou em tradicionais regiões de oferta agropecuária, com logística de certa forma razoavelmente bem estruturada. Portanto, tem fatores que facilitam a viabilidade econômica, sem maiores impactos ambientais, em tese. Em exercício hipotético, se considerarmos o aumento de eficiência de apenas 10% no rebanho bovino na próxima década (menos de 1% a.a. em média), seriam liberados 17 milhões de hectares. Este número é maior do que toda a expansão da agricultura brasileira nos últimos 34 anos.

Ainda, é importante entender que há quase 100 milhões de hectares disponíveis para agricultura, com boas condições edafoclimáticas para culturas diversas, mas ainda não utilizados. Esse valor já exclui toda a parte do território ocupada por florestas, áreas de preservação, terras indígenas, biomas sensíveis etc. Desse modo, o Brasil possui vasta quantidade de terras agricultáveis para aumentar, de modo sustentável, sua produção agropecuária, seja para fins alimentícios ou para biocombustíveis. Esses números corroboram que a competição biocombustíveis versus alimentos não é e não será um problema. Ademais, são vários os países tropicais que possuem terras aptas à expansão sustentável dos biocombustíveis.

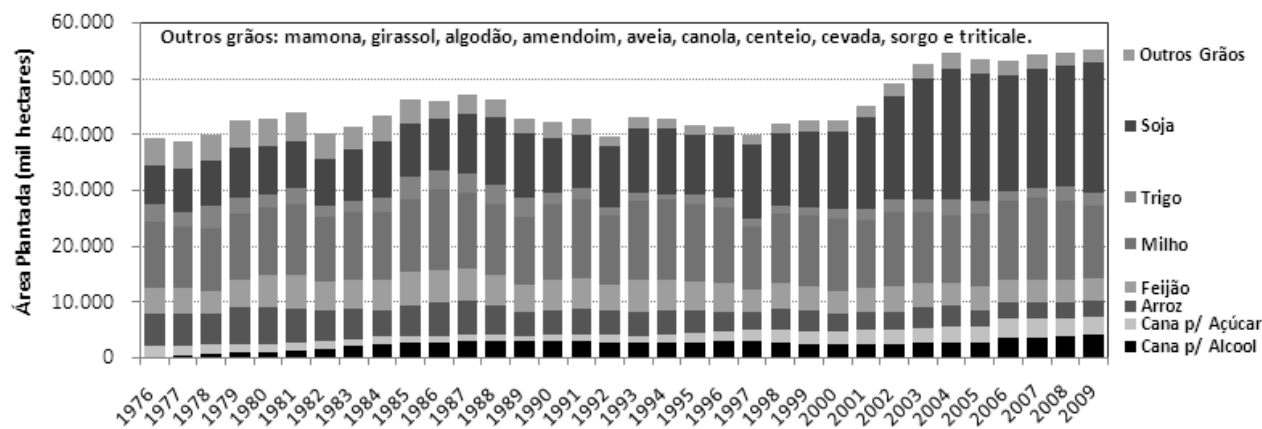
Se a disponibilidade de terra é uma questão importante, outro ponto é o ganho de produtividade agrícola. O aumento da eficiência implica necessariamente uma menor demanda de área. No Brasil, desde 1976, a área plantada com as diversas culturas aumentou 40% (Figura 13), contra um incremento de produção de mais de 300%. Se a produtividade fosse constante, a área teria que ter também aumentado 300%, mas não foi. Nesse período de pouco mais de 30 anos, a produtividade cresceu 187% (3,2% a.a. em média).



Fontes: CONAB. Elaboração MME [14].

Figura 13 - Evolução da área plantada e da produção e produtividade agrícola

A partir da observação mais criteriosa da expansão da área plantada, percebemos que o maior responsável pelo aumento de 40% foi a cultura da soja, como mostra a Figura 14. Ainda, assim, isso se deu praticamente nos últimos 10 anos. Em 1976, a área plantada era da ordem de 40 milhões de hectares e, em 2000, era também da ordem de 40 milhões [14]. O total cultivado com cana-de-açúcar, arroz, feijão, milho e trigo praticamente não variou desde 1976, mantendo-se na faixa de 30 milhões de hectares. Destaca-se que dois fatos decisivos para a expansão da soja no Brasil foram: a aprovação da Lei Kandir, em setembro de 1996 (Lei Complementar nº 87/1996); a crescente demanda mundial por proteína de soja. Aliás, o biodiesel surge como uma possibilidade de reequilibrar o mercado de soja, posto que a demanda de proteína cresce mais rapidamente do que a demanda de óleo. Cabe lembrar que cerca de 80% do peso do grão é farelo de soja e os outros 20% são óleo.



Fontes: CONAB. Elaboração MME [14].

Figura 14 - Evolução da área plantada e da produção e produtividade agrícola.

Considerações finais

Com base no exposto nesse trabalho, podemos relatar que as políticas brasileiras para biocombustíveis se originaram bem antes da criação do Pró-álcool. Na realidade, perpassam toda a história do Brasil ao longo de quinhentos anos de existência. São vários os exemplos, incluindo atos do período colonial, monárquico e republicano, que estabeleceram diretrizes e regras para a base da produção de matérias-primas, assim como para a instalação, o desenvolvimento e a expansão da indústria do etanol e, mais recentemente, do biodiesel.

Esses atos, no contexto de políticas governamentais, versam sobre formas distintas para harmonizar os diversos interesses envolvidos, privados e públicos, na ótica econômica, social e ambiental, direta ou indiretamente. Afinal, a substituição de combustíveis fósseis por renováveis compreende normalmente um maior custo financeiro-econômico, dados os preços relativos desfavoráveis aos biocombustíveis e sua menor escala produtiva. Entretanto, em outra direção, abrange vantagens e externalidades positivas. A busca pelo balanceamento adequado desses “prós-e-contras” fez e faz parte da nossa política governamental.

A consistência temporal dessa atuação foi fundamental para o aumento de eficiência do etanol. Contudo, se de um lado esteve presente a ação governamental, objetivando conferir a um bem particular a característica de utilidade pública, de outro estiveram o suporte e a força da iniciativa privada, que assumiu riscos intrínsecos dessa atividade e realizou seus investimentos. Graças a esse trabalho mútuo, quase como uma parceria, o país se orgulha hoje por ser referência internacional na produção e no uso de biocombustíveis, em larga escala.

No caso do etanol, inclusive de maneira bastante competitiva há anos, em função da sua extensa curva de aprendizado. É nítida a relevância da cana-de-açúcar como bem energético e estratégico para o país. Essa posição, conquistada ao longo de anos, serve como modelo para a consolidação do biodiesel no mercado brasileiro, assim como para o desenvolvimento de futuros biocombustíveis, a exemplo do bioquerosene e do biogás, ou mesmos de novas gerações tecnológicas.

Referências bibliográficas

- [1] CROSSMAN, R. H. S., *The Estate - Biografia do Estado Moderno*, Livraria Editora Ciências Humanas, São Paulo, 1980.
- [2] ENGELS, F., *A Origem da Família, da Propriedade Privada e do Estado*, Ed. Civilização Brasileira, Rio de Janeiro, 1974.
- [3] HOBBS, T., *Leviatã ou matéria, forma e poder de um estado eclesiástico e civil*. Tradução de João Paulo Monteiro e Maria Beatriz Nizza da Silva. Ed. Abril Cultural, São Paulo, 1983.
- [4] LOCKE, J., *Primeiro e Segundo Tratado sobre o Governo Civil*, Ed. Abril cultural, Coleção Os Pensadores, São Paulo, 1973.
- [5] PINZANI, A., *Maquiavel & O Príncipe*, Ed. Jorge Zahar, Rio de Janeiro, 2004.
- [6] FURTADO, C., *Formação Econômica do Brasil*, 11ª edição, Companhia Editora Nacional, São Paulo, 1971.
- [7] *Boletim Mensal de Energia – Dez/2009*, Ministério de Minas e Energia, retirado de www.mme.gov.br/spe/menu/publicacoes.html em 14/04/2010.
- [8] *Resenha Energética Brasileira 2010*, em *Balço Energético Nacional*, Ministério de Minas e Energia, retirado de www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html em 14/04/2010.
- [9] *Bioetanol de Cana-de-Açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável*. Organização BNDES e CGEE, Rio de Janeiro, 2008.
- [10] *Renewable Fuel Standard Program (RFS2) Regulatory Impact Analysis*. US Environmental Protection Agency (EPA), retirado de www.epa.gov/otaq/renewablefuels/420r10006.pdf em 14/04/2010.
- [11] Referências diversas retiradas de en.wikipedia.org/wiki/Food_vs._fuel, em 14/04/2010.
- [12] *ILUC Consultation Document*. European Commission, 2009, retirado de ec.europa.eu/energy/ em 14/04/2010.
- [13] *Legislação Nacional sobre Álcool*, 1º volume, Conselho Nacional do Petróleo, MME/CNP, 1978.
- [14] *Central de Informações Agropecuárias*, Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, retirado de www.conab.gov.br em 14/04/2010.
- [15] *Dados de BP Statistical Review of World Energy 2009*, retirado de www.bp.com em 14/04/2010.
- [16] *Boletim Mensal de Combustíveis Renováveis – Jan/2010*, Ministério de Minas e Energia, www.mme.gov.br/spg/menu/publicacoes.html, acessado em 14/04/2010.
- [17] *Censo Agropecuário 2006*, IBGE, retirado de www.ibge.gov.br em 14/04/2010.
- [18] *Relatório de Administração*, Grupo JBS-Friboi, retirado de www.jbs.com.br/ri/ em 14/04/2010.
- [19] *Levantamento Semanal de Preços*, ANP, disponível em www.anp.gov.br/preco.

INVENTÁRIO E CARTOGRAFIA DE RECURSOS AGROMINERAIS CONVENCIONAIS E ALTERNATIVOS DO TERRITÓRIO BRASILEIRO

GERSON MANOEL MUNIZ DE MATOS¹
IVAN SÉRGIO DE CAVALCANTE MELLO²

Introdução

Dentre as justificativas para o desenvolvimento do Projeto Estudo Prospectivo Relativo aos Agrominerais e seus Usos na Produção de Biocombustíveis Líquidos com Visão de Longo Prazo (2035), destaca-se a necessidade de fornecer à iniciativa privada e a órgãos públicos elementos básicos para planejamento de futuros trabalhos, visando à expansão ordenada da indústria de insumos agrícolas no Brasil. Com esse projeto objetiva-se, portanto, dar apoio e sustentabilidade ao grande aumento previsto da produção brasileira de biocombustíveis líquidos. O projeto é executado pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT) em parceria com diversas instituições, dentre as quais a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), com recursos da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

Para atender aos objetivos desse projeto, a CPRM/SGB contribui com a elaboração de dois mapas. O *Mapa de Ambientes Geológicos Favoráveis para Agrominerais Fontes de P, K, Ca e Mg* é direcionado à cartografia das fontes minerais convencionais para produção de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) necessárias ao cultivo de oleaginosas fontes de biocombustíveis, enquanto o *Mapa de Insumos Alternativos para a Agricultura: Rochas, Minerais e Turfa* é voltado para a cartografia de fontes alternativas, tais como rochas, minerais e substância húmica (turfa), para aplicação direta na agricultura, com destaque para os insumos utilizados no processo designado por rochagem.

Mapa de ambientes geológicos favoráveis para agrominerais fontes de P, K, Ca e Mg

Com a cartografia dos ambientes geológicos favoráveis à ocorrência de rochas fosfáticas, potássicas e carbonáticas, apresenta-se ao Governo Federal, às entidades de pesquisa e à agroindústria um produto inédito, desenvolvido em base tecnológica capaz de suportar complementações e atualizações posteriores, o qual, certamente, contribuirá significativamente para o desenvolvimento do setor de fertilizantes.

O Mapa desenvolvido para esse fim se constitui no produto do inventário das informações sobre fontes primárias de recursos comprovados e potenciais para uso na agricultura como insumos minerais convencionais e corretivo de solo, obtido por meio de levantamento e identificação dos ambientes geológicos favoráveis a hospedar depósitos de agrominerais fontes de P, K, Ca e Mg no território brasileiro.

Tal levantamento se baseou em informações geológicas integradas nos mapas do Projeto GIS Brasil (escala 1:1.000.000), executado pela CPRM/SGB e editado em 2004, assim como informações obtidas posteriormente de trabalhos executados por Unidades Regionais da CPRM/SGB. Igualmente, foram levantados e disponibilizados dados de infraestrutura, tais como localização das principais capitais brasileiras e aeroportos, rodovias federais, ferrovias, e dados de hidrografia, além de indicação das áreas de restrição integral à mineração.

Após análise, integração e interpretação de tais informações, obteve-se, como produto, um mapa de localização e distribuição das unidades litoestratigráficas que constituem domínios geológicos identificados como potenciais à existência de fontes minerais para extração de macronutrientes (P, K, Ca e Mg).

¹ D.Sc. Universität Heidelberg. Serviço Geológico do Brasil (SGS/CPRM). E-mail: gmmm@rj.cprm.gov.br.

² D.Sc. Universidade de São Paulo (USP). Serviço Geológico do Brasil (SGS/CPRM). E-mail: mello@sp.cprm.gov.br.

O mapa, apresentado na escala de trabalho de 1: 5.000.000, foi elaborado em meio digital e em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Na figura 1, apresentada como encarte a esse texto, é mostrado o modo de apresentação (leiaute) desse produto, que pode ser acessado para visualização e plotagem - em escala original - no endereço: <http://www.cetem.gov.br/> ou em ambiente SIG (CDROM) na CPRM/SGB.

CRITÉRIOS PARA ELABORAÇÃO DO MAPA

Os critérios utilizados para identificar os domínios geológicos de ambiência favorável à existência de depósitos de agrominerais no território brasileiro e sua caracterização em mapa objetivaram, primeiramente, o agrupamento de grandes unidades estratigráficas de diferentes idades, em conjuntos com características semelhantes quanto ao posicionamento tectônico, nível crustal, classe de rocha (ígnea, sedimentar ou metamórfica), grau de deformação, expressividade dos corpos rochosos, tipo de metamorfismo e litotipos especiais. Se, por um lado, nos domínios geológicos levantados foram agrupados diferentes litotipos, desde conglomerados a sedimentos siltico-argilosos, por outro lado foram separados pacotes sedimentares muito semelhantes em sua composição, estrutura e textura, quando a geometria dos corpos rochosos apontava na direção da importância em se distinguir, por exemplo, situação de extensas coberturas de uma situação de pacote com distribuição restrita limitado em riftes.

Em cada um desses conjuntos ou grandes domínios procedeu-se à identificação de diferentes fácies sedimentares e à individualização daquelas cujas características composicionais e deposicionais se mostram propícias à formação de rochas carbonáticas, fosfáticas e evaporíticas. Sobre essa base de estudo foram localizados todos os jazimentos dos minerais convencionais, fontes de macros e micronutrientes, cadastrados como ocorrências (939), depósitos (256) e minas ativas e paralisadas (788), disponíveis na Base de Dados de Recursos Minerais do GeoBank (banco de dados geológicos da CPRM/SGB).

No mapa, os polígonos que representam as ambiências/faciologias potenciais para agrominerais são identificados por cores, apresentando a descrição de sua composição litológica em legenda, enquanto sua área de ocorrência é apresentada com sua real expressão, proporcionalmente à escala de trabalho. Os jazimentos (ocorrências, depósitos e minas), por sua vez, têm representação pontual, sem guardar proporcionalidade com a escala de trabalho, uma vez que a grande maioria dos jazimentos não possui expressão significativa em área para representação na escala de apresentação do mapa.

JAZIMENTOS DE AGROMINERAIS CONVENCIONAIS NO BRASIL CARACTERIZADOS EM MAPA

Com relação ao fosfato, o inventário das informações mostra que, no estágio atual do conhecimento geológico, no Brasil, os jazimentos estão relacionados a cinco ambientes principais. Destes, apenas os quatro primeiros descritos hospedam depósitos com viabilidade econômica:

- magmático: associado a complexos alcalino-carbonatíticos mesozoicos, incluindo os jazimentos residuais supergênicos decorrentes de processo de laterização desses complexos.
- metassedimentar: em bacias intracratônicas proterozoicas.
- sedimentogênico: em bacias marginais mesozoicas.
- ortometamórfico: em complexos alcalino-carbonatíticos metamorizados do Proterozoico, incluindo os jazimentos residuais decorrentes de processo supergênico de laterização sobre esses complexos.
- orgânico: constituído de excrementos de aves (guano); pouco importante do ponto de vista comercial.

Relativamente aos sais de potássio, as principais fontes estão associadas à deposição de evaporitos, isto é, produtos da precipitação química em bacias sedimentares próprias a ambientes transitacionais restritos em lagos com alta concentração de sais e com elevadas taxas de evaporação, em clima árido. O principal minério potássífero é a silvinita [silvita (KCl) + halita (NaCl)], seguido por: carnalita (KCl.MgCl₂.6H₂O), langbeinita (K₂SO₄.2MgSO₄), polihalita [K₂Ca₂Mg(SO₄)₄.H₂O] e leonita (K₂SO₄.MgSO₄.4H₂O).

Quanto aos macronutrientes Ca e Mg, as grandes unidades sedimentares carbonáticas portadoras de rochas calcárias e dolomíticas constituem-se na principal fonte desses insumos.

Levando em consideração essas premissas, foram caracterizados os seguintes domínios geológicos e suas fácies, representados no Mapa de Ambientes Geológicos Favoráveis para Agrominerais Fontes de P, K, Ca e Mg (Quadro 1).

Quadro 1 - Caracterização de domínios geológicos e faciologias favoráveis para agrominerais fontes de P, K, Ca e Mg.

AMBIÊNCIA FAVORÁVEL		
Domínio Geológico	Faciologia	
I	Coberturas sedimentares, quaternárias e terciárias, formadas por lixiviação química.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coberturas sedimentares detrítico-lateríticas. Favorabilidade para fosfato residual (Ia). ▪ Coberturas sedimentares detrítico-carbonáticas. Favorabilidade para rochas carbonáticas (Ib).
II	Coberturas sedimentares terciárias, amplas e espessas, pouco a moderadamente consolidadas, associadas a pequenas bacias.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Predominância de pelitos de deposição continental-fluvial. Favorabilidade para depósitos de turfa, gipsita, salgema e anidrita (II).
III	Coberturas sedimentares clástico-carbonáticas mesozoicas consolidadas, associadas a bacias costeiras do tipo rifte, depositadas em diferentes ambientes, tais como: continental, marinho, desértico, glacial e vulcânico.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rochas calcárias contendo intercalações de sedimentos siltico-argilosos (IIIa). ▪ Sedimentos quartzo-arenosos e conglomeráticos com intercalações de sedimentos siltico-argilosos. Favorabilidade para gipsita, evaporitos, turfa e calcário (IIIb). ▪ Espessos pacotes de sedimentos siltico-argilosos. Favorabilidade para fosfato, gipsita e carbonatos (IIIc).
IV	Coberturas sedimentares e vulcanossedimentares consolidadas mesozoicas e paleozoicas, associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise, preenchidas por espessos e extensos pacotes de camadas horizontalizadas de sedimentos.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Predomínio de tufo cineríticos com ocorrências de fosfatos (IVa). ▪ Espessos pacotes com predomínio de sedimentos siltico-argilosos, arenosos e rochas carbonáticas (IVb). ▪ Camadas de evaporitos e calcários com intercalações irregulares de sedimentos siltico-arenosos (IVc). ▪ Espessas camadas de rochas calcárias intercaladas com finas camadas de sedimentos siltico-argilosos (IVd). ▪ Sequência siliciclástica depositada em bacia intracratônica e constituída por arenitos, folhelhos e siltitos. Favorabilidade para fosfato (IVe).
V	Suítes intrusivas alcalino-carbonáticas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Favorabilidade para fosfato e carbonato (V).
VI	Extensas e espessas coberturas sedimentares proterozoicas, pouco dobradas e metamorizadas, caracterizadas por um empilhamento de camadas horizontalizadas e sub-horizontalizadas, com diferentes espessuras, de sedimentos clastoquímicos de várias composições, depositadas em diferentes ambientes tectonodeposicionais.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espessos pacotes de sedimentos predominantemente siltico-argilosos com intercalações de arenitos e grauvas. Favorabilidade para calcário e fosfato (VIa). ▪ Espessas e extensas camadas de rochas calcárias com intercalações subordinadas de sedimentos siltico-argilosos e arenosos (VIb).
VII	Sequências metassedimentares proterozoicas complexamente e diferentemente dobradas e metamorizadas em baixo grau.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos com intercalações de grauvaça e ocorrências de fosfatos (VIIa). ▪ Alternância irregular de finas camadas ou lentes de metassedimentos arenosos com metacarbonáticas, calciossili-cáticas e xistos calcíferos (VIIb). ▪ Predomínio de espessos e extensos corpos de metacalcários, com intercalações de metassedimentos siltico-argilosos e arenosos. Ocorrências de fosfato e rochas carbonáticas (VIIc).

VIII	Sequências metavulcanossedimentares proterozoicas dobradas e metamorfizadas em baixo a médio grau.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Predomínio de metassedimentos síltico-argilosos. Favorabilidade para rochas carbonáticas (VIIIa). ▪ Predomínio de espessos pacotes de rochas metacalcárias com intercalações de finas camadas de metassedimentos síltico-argilosos com ocorrências de fosfato (VIIIb).
IX	Sequência metavulcanossedimentar, do tipo <i>greens-tone belt</i> , metamorfizada em baixo grau, representada por metassedimentos síltico-argilosos, arenosos, clorita-xistos, quartzitos e metacalcários.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fácies exclusivamente metassedimentar representada principalmente por filitos, xistos, quartzitos e metacalcários. Favorabilidade para rochas carbonáticas (X).

ÁREAS POTENCIAIS PARA DEPÓSITOS ECONÔMICOS

Comparativamente aos resultados obtidos da caracterização faciológica dos ambientes favoráveis à ocorrência de agrominerais fontes de P, K, Ca e Mg, integrados com a distribuição dos jazimentos conhecidos desses insumos, foram considerados dois tipos de áreas potenciais, em função do conhecimento do ambiente geológico, com possibilidades de aproveitamento econômico, e da densidade de trabalhos de prospecção mineral anteriormente desenvolvidos para esses insumos.

Constata-se que a grande maioria das áreas selecionadas para pesquisa está relacionada às bacias brasileiras, com potencial ainda inexplorado.

- alto potencial: ambiente geológico favorável e baixa densidade de trabalhos de prospecção mineral.
- médio/baixo potencial: ambiente geológico favorável e alta densidade de trabalhos de prospecção mineral.

Áreas de alto potencial

As características principais das áreas consideradas de alto potencial para pesquisa de fosfato, potássio e rochas calcárias (Ca, Mg), em ordem decrescente de prioridade para cada substância mineral, são apresentadas no Quadro 2. Foram selecionadas seis áreas com alto potencial para ocorrências econômicas de fosfato, três para rochas calcárias e dolomíticas e uma para potássio. Destacam-se para pesquisa de fosfato e rochas calcárias áreas correspondentes à porção aflorante de metassedimentos carbonáticos e pelito-carbonáticos do Grupo Bambuí/Una, no oeste dos estados da Bahia e Minas Gerais, e a área de metassedimentos da Formação Bocaina do Grupo Corumbá, aflorantes na serra da Bodoquena, a sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul.

Quadro 2 - Áreas de alto potencial para ocorrências econômicas de agrominerais.

Insumos	Faciologia (*)	Localização	Área Aproximada (Km ²)	Unidade Hospedeira	Idade	Características Metalogenéticas	Jazimentos Conhecidos
P, Ca, Mg	Vla	Centro-Oeste e Oeste dos Estados da Bahia e Minas Gerais; Nordeste do Estado de Goiás	200.000	Grupo Bambuí (MG), Formações Lagoa do Jacaré e Sete Lagoas e Grupo Una (BA), FM. Formação Irecê, Unidade Nova América	PS	Metassedimentos Carbonáticos e Pelito-Carbonáticos, com esteiras algais e estromatólitos ou margas com intercalações de fosforito.	Irecê (BA), Patos de Minas (MG); Cedro do Abaeté (MG); Campos Belos (GO)
	VIIc	Serra da Bodoquena (MS)	10.000	Grupo Corumbá, Formação Bocaina	PS	Sequência de Metassedimentos Marinhos rasos constituídos de calcários e dolomitos com níveis de fosforito.	Bonito (MS)
P	IVe	Flanco Ocidental da Bacia do Parnaíba (TO)	25.000	Formação Pimenteiros	Pz-D	Sequência de sedimentos Marinhos transgressivos, constituídos de arenitos, Siltitos e folhelhos com disseminações de fosfato criptocristalino (colofana), associado à anomalia radiométricas e glauconta.	Serra do Estrondo (TO)
	VIb	Região de Jurueña/Teles Pires/Aripuanã, no Norte do Mato Grosso e Sul do Amazonas	60.000	Grupo Beneficente	PM	Sequência de Metassedimentos Marinhos Glauconíticos constituída de siltitos com disseminações de fosfato criptocristalino (colofana) e arenitos com micronódulos de colofana.	Aripuanã (AM)
	V	Bordo Norte da Bacia do Amazonas (PA E AM)	75.000	Complexo Intrusivo de Mapari e Semelhantes	PM	Complexos Alcalino-Carbonatíticos de forma circular (500 A 2.500 m de diâmetro), mineralizados a apatita..	Maecuru (PA)
	V	TREND SW-NE do Alto Rio Negro (AM) à Serra de Catrimani	130.000	Complexos Intrusivos de Seis Lagos I (proterozoico médio) e da Serra do Repartimento (cretáceo)	Mz-K PM	Complexos Alcalinos – Carbonatíticos cretácicos e do proterozoico médio, mineralizados a apatita, frequentemente associados a nióbio e terras-raras. Controle estrutural segundo lineamento de direção SW-NE.	Seis Lagos (AM), Serra do Repartimento (RR)
K	-	Bacia do Amazonas (AM)	40.000	Formação Nova Olinda	Pz-C	Sequência evaporítica constituída de Halita com níveis métricos de Silvinita e Sulfatos complexos de Potássio e Magnésio.	Fazendinha e Arari (AM)

Mz-K- Msozoico-Cretáceo

PS - Proterozoico Superior

P - Fosfato

(*) Faciologia do Quadro 1

Pz-C - Paleozoico-Carbonífero

PM - Proterozoico Médio

K - Potássio

Pz-D - Paleozoico-Devoniano

Ca - Cálcio

Mg - Magnésio

Áreas de médio/baixo potencial

As características principais das áreas consideradas de médio/baixo potencial para pesquisa de insumos minerais para fosfato e potássio, em ordem decrescente de prioridade para cada substância mineral, são apresentadas no Quadro 3. Foram selecionadas três áreas com potencial para ocorrências econômicas de fosfato, uma para rochas calcárias e uma para potássio.

Quadro 3 - Áreas de médio/baixo potencial para ocorrências econômicas de agrominerais.

Insumos	Faciologia (*)	Localização	Área aproximada (km ²)	Unidade Hospedeira	Idade	Características Metalogenéticas	Jazimentos Conhecidos
P	V	Bordo oriental da Bacia do Paraná	250.000	Complexos Intrusivos Alcalinos, semelhantes a Jacupiranga, Araxá, Catalão etc.	Mz-K	Complexos Alcalino-Carbonatíticos de formato circular, mineralizados a Apatita frequentemente associada a Nióbio e Terras-Raras	Catalão (GO), Ouvidor (GO), Tapira (MG), Araxá (MG), Jacupiranga (SP), Anitápolis (SC), Iperó (SP)
P, Ca, Mg	IIIc	Faixa Costeira PE/PB	4.000	Formação Gramame	Mz-K	Sequência sedimentar marinha transgressiva, com níveis métricos de sedimento fosfático Argilo-Arenoso, com oólitos fósseis e <i>Pellets</i> fosfatizados e cimento apatítico.	Paulista (PE), Alhandra (PB) /Goiana (PE), João Pessoa (PB)
	IVe	Flanco Oriental da Bacia do Parnaíba	20.000	Formação Pimenteiras	Pz-D	Sequência de sedimentos marinhos, com calcários oolíticos cimentados por apatita, siltitos com disseminações de fosfato criptocristalino (colofana) e arenitos com micronódulos de colofana.	São Miguel do Tapuio e Pimenteiras (PI)
K	IIIc	Bacia de Sergipe (SE)	1.200	Formação Muribeca Membro Iburá	Mz-K	Sequência evaporítica constituída de Halita, Carnalita, Taquidrita e Silvinita.	Taquari, Vasouras, Santa Rosa de Lima, Aguilhada/ Pirambu (SE)

Notas: Mz-K - Mezozoico-Cretáceo; P - Fosfato.; (*) Faciologia do Quadro 1.
 Pz-C - Paleozoico-Carbonífero; K - Potássio;
 Pz-D - Paleozoico-Devoniano; Ca - Cálcio;
 Mg - Magnésio

Mapa de insumos minerais alternativos para agricultura: rochas, minerais e turfa

O levantamento dos insumos minerais alternativos para agricultura objetivou a cartografia, principalmente, de rochas e minerais cujas composições químicas e mineralógicas os qualificam a servirem de matéria-prima para o processo alternativo ou complementar de fertilização ou remineralização de solos, ou seja, a obtenção de fertilizantes alternativos de baixo custo, com a vantagem de essa matéria-prima ser portadora de diversos macros e micronutrientes. A técnica de aplicação direta na agricultura de rochas, minerais e resíduos mínero-industriais, de granulometria fina resultante de moagem, como fontes alternativas de P, K, Ca e Mg – elementos de fertilização natural –, é conhecida como rochagem. Esta técnica se reveste de grande importância na cultura de vegetais adequados à produção de biocombustíveis líquidos, a custos menores e sem prejuízo ao meio ambiente.

O levantamento considerou as informações geológicas constantes no Projeto GIS Brasil (escala 1:1.000.000) e no GeoBank (Base de Dados de Afloramentos e Base de Dados de Recursos Minerais), e se constitui no produto do inventário em território brasileiro de fontes alternativas de macros e micronutrientes para uso como insumos minerais para agricultura. Igualmente, foram levantados e disponibilizados dados de infraestrutura, tais como localização das principais capitais brasileiras e aeroportos, rodovias federais, ferrovias e dados de hidrografia, além de indicação das áreas de restrição integral à mineração.

Visando à melhor leitura e compreensão das informações plotadas em mapa, uma vez que, devido à grande quantidade de dados levantados as suas representações se superpõem, optou-se, na elaboração do Mapa de Insumos Minerais Alternativos para Agricultura: Rochas, Minerais e Turfa, pela utilização de três representações gráficas em um único leiaute e duas diferentes escalas: 1:7.000.000, para a versão do mapa para rochas, e 1:15.000.000, tanto para a versão do mapa referente a minerais, quanto à versão para turfa.

No Mapa de Rochas são apresentadas a localização e a distribuição dos litotipos, considerados adequados ao processo de rochagem, presentes no substrato rochoso do território brasileiro. Dentre as rochas metamórficas, foram consideradas: biotita-xistos, esteatitos, flogopititos e mármores; dentre as rochas sedimentares: arenitos fosfáticos, folhelhos pirobetuminosos, glauconitos (verdetes) e lateritos fosfáticos; dentre as rochas vulcânicas e plutônicas: anortositos, basaltos, biotititos, fonolitos, kamafugitos, kimberlitos, piroxenitos, serpentinitos, sienitos e rochas alcalinas e básico-ultrabásicas indiferenciadas. A área de distribuição da maior parte dessas rochas, relacionadas e identificadas por cores na legenda, é apresentada em mapa com sua real expressão, proporcionalmente à escala de trabalho do mapa. Aquelas rochas cuja área de distribuição não possuem expressão na escala de trabalho são representadas pontualmente.

No Mapa de Minerais, encontram-se localizados os jazimentos dos minerais que constituem fontes naturais de macronutrientes principais e secundários. Foram considerados os seguintes minerais: amazonita (1 mina e 23 ocorrências), serpentina (12 minas, 7 depósitos e 22 ocorrências), gipsita (67 minas e 118 ocorrências), vermiculita (12 minas, 8 depósitos e 90 ocorrências) e zeólita (42 ocorrências).

No Mapa da Turfa, é apresentada a localização de 15 minas e 195 ocorrências.

A representação das ocorrências dos minerais selecionados e de turfa é pontual, sem guardar proporcionalidade com a escala de trabalho, uma vez que a grande maioria dos jazimentos não possui expressão significativa em área para serem representados na escala de trabalho do mapa.

O mapa foi elaborado em meio digital e em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Na figura 2, apresentada como encarte a esse texto, é mostrado o modo de apresentação (leiaute) do mapa de rochas. O produto final, constituído pelo conjunto dos três mapas, pode ser acessado para visualização e plotagem - em escala original - no endereço: <http://www.cetem.gov.br/> ou em ambiente SIG (CDROM) na CPRM/SGB.

Referências bibliográficas

BIZZI, Luiz Augusto; SCHOBENHAUS, Carlos; VIDOTTI, Roberta Mary; GONÇALVES, João Henrique (Orgs.) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil; texto, mapas e SIG. [Geology, Tectonics and Mineral Resources of Brazil: text, maps and GIS]. Brasília: CPRM, 2003. 673 p. 1 DVD. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infol=790&sid=9>>. Acesso em 30 set. 2009.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: sistema de informações geográficas – SIG [Geological Map of Brazil 1:1.000.000 Scale: geographic information system - GIS]. Brasília: CPRM, 2004. 41 CD ROM. Programa Geologia do Brasil.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. GEOBANK. Salvador: CPRM, 2007.

- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Nota Explicativa do Mapa Síntese do Setor de Fertilizantes Minerais (NPK) no Brasil na escala 1:7.000.000: texto, Rio de Janeiro. CPRM, 1997.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso do Sul. Goiânia: CPRM, 2006. 144 p.; 1 CD - ROM Programa Geologia do Brasil (PGB). Disponível em: <www.cprm.gov.br/publique/media/rel_mato_grosso_sul.pdf>;<www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_mato_grosso_sul.pdf>. Acesso em 30 set. 2009.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL Geologia e Recursos Minerais do Estado de São Paulo: Sistema de Informações Geográficas - SIG. Rio de Janeiro, 2006. 1 CD-ROM. Programa Geologia do Brasil (PGB).
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa Geodiversidade do Brasil. Escala 1:2.500.000. Legenda expandida. Brasília, 2006. 68p.; 1 CD-ROM. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/media/geodiversidade.pdf>>. Acesso em 30 set. 2009.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa Geológico do Estado do Piauí: mapas. Sistema de Informações Geográficas - SIG. Escala 1:1000.000. [Brasília], 2006. 1 CD-ROM. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_piaui.pdf>. Acesso em 30 set. 2009.
- DELGADO, Inácio de Medeiros; FUEZI, Vanessa. Mapa Tectônico do Brasil, versão simplificada. Escala 1:5.000.000. Brasília: CPRM, 2009. Versão preliminar em CD-ROM
- IBGE. Base cartográfica vetorial contínua ao milionésimo: versão 3.01. Rio de Janeiro: IBGE [s.d.]
- LACERDA FILHO, Joffre Valmório de; ABREU FILHO, Waldemar; VALENTE, Cidney Rodrigues; OLIVEIRA, Cipriano Cavalcante de; ALBUQUERQUE, Mário Cavalcante de (Orgs.) Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso: texto explicativo. Cuiabá: CPRM, 2004. 235 p.; 1 CD-ROM. Programa Geologia do Brasil (PGB). Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel_mato_grosso.pdf>; <http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_mato_grosso.pdf> Acesso em 30 set. 2009.
- MOREIRA, Maria Luiza Osório; MORETON, Luiz Carlos; ARAÚJO, Vanderlei Antônio de; LACERDA FILHO, Joffre Valmório de; COSTA, Heitor Faria da (Orgs.). Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal: texto explicativo. Escala 1: 500.000. Goiânia: CPRM, 2008. 143 p.; 1 CD-ROM. Programa Levantamentos Geológicos do Brasil - PLGB. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel_goiassdf.pdf>; <http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_goiassdf.pdf>. Acesso em 30 set. 2009.
- QUADROS, Marcos Luiz do Espírito Santo; RIZZOTTO, Gilmar José (Orgs.). Geologia e Recursos Minerais do Estado de Rondônia. Escala 1:1.000.000. Porto Velho: CPRM, 2007. 169p.; 1 CD-ROM. Programa Geologia do Brasil (PGB). Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_rondonia.pdf >; <http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel_rondonia.pdf>. Acesso em 30 set. 2009.
- REIS, Nelson Joaquim; ALMEIDA, Marcelo Esteves; RIKER, Silvio Lopes; FERREIRA, Amaro Luiz (Orgs.). Geologia e Recursos Minerais do Estado do Amazonas: texto explicativo. Escala 1:1. 000.000. Manaus: CPRM, 2006. 144 p.; 1 CD-ROM. Programa Geologia do Brasil (PGB); Convênio CPRM; CIAMA-AM. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel_amazonas.pdf>; <http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_amazonas.pdf>. Acesso em 30 set. 2009
- VASQUEZ, Marcelo Lacerda; ROSA-COSTA, Lúcia Travassos da (Orgs.). Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: texto explicativo. Escala 1:1. 000.000. Belém: CPRM, 2008. 328 p.; 1 CD-ROM. Programa Geologia do Brasil (PGB). Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel_para.pdf>; <<http://www.cprm.gov.br/publique/media/para.pdf>> Acesso em 30 set. 2009.
- WILDNER, Wilson; RAMGRAB, Gilberto Emílio; LOPES, Ricardo da Cunha; IGLESIAS, Carlos Moacyr da Fontoura. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 2008. 1 DVD. Programa Geologia do Brasil (PGB).

ROCHAS E MINERAIS COMO FERTILIZANTES ALTERNATIVOS NA AGRICULTURA: UMA EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL¹

PETER VAN STRAATEN²

Introdução

Segundo estimativas do relatório anual da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO) sobre segurança alimentar global, publicado em 2009, mais de um bilhão de pessoas, um sexto da população mundial, está subnutrida. Por outro lado, a produção de alimentos assim como a segurança alimentar dependem essencialmente de fatores biofísicos e de recursos naturais como a água e os solos, elementos essenciais para a vida na terra.

Para melhorar a fertilidade do solo, recorre-se à utilização de fertilizantes convencionais e, por razões econômicas e ambientais, ao uso de fontes alternativas de nutrientes, incluindo esterco, rochas e agrominerais, disponíveis nas proximidades das áreas de aplicações. Reforça-se assim a oferta de alimentação para humanos, de ração animal e de biocombustíveis.

A degradação física, química e biológica dos solos, na busca por suprimentos alimentares aliados a água, ao ar e à energia, ameaçam a segurança alimentar da população humana. A baixa fertilidade do solo é uma das causas da fome na África (Sanchez, 2002). Além disso, as mudanças ambientais a longo prazo, incluindo as alterações climáticas, terão implicações econômica-sociais e causarão sérios efeitos aos ecossistemas naturais, ao uso do solo e da água, à biodiversidade, à provisão de alimentos e à segurança alimentar.

É claro que a manutenção de solos saudáveis, bem nutridos e adequadamente tratados e, inclusive, os recursos como a água e a energia são cruciais para um desenvolvimento econômico-social e cultural sustentável.

Métodos de fertilização convencionais e não convencionais são praticados há décadas, a fim de aumentar a produção para a alimentação humana e ração animal. No entanto, nos últimos anos, surgiu um novo tipo de cultivo para a produção de combustíveis biológicos.

Os biocombustíveis são conhecidos por serem recursos renováveis derivados de produtos agrícolas, como a cana-de-açúcar e de outros cultivos que contêm açúcar e amido (milho e biomassas ricas em celulose, entre outros), e de plantas oleaginosas (óleo de palma, soja, canola, mamona, girassol, pinhão manso – *jatropha curcas*) para a produção de bioetanol e de biodiesel, respectivamente. Os produtos agrícolas são considerados alternativas promissoras capazes de diminuir, lentamente, o suprimento de recursos naturais como os combustíveis fósseis não-renováveis. Na verdade, esses podem ser produzidos em regiões em que não há fontes convencionais de óleo e gás, fornecendo uma diversidade de recursos de combustíveis e usados em várias escalas, estimulando potencialmente a economia tanto de países desenvolvidos quanto de países em desenvolvimento.

Desde 1975, o Brasil produz matéria biológica renovável (cana-de-açúcar, soja, canola e milho) destinada à produção de biocombustível, o que pode ter efeitos benéficos para o meio ambiente, uma vez que as plantas absorvem CO₂ durante seu processo de crescimento. Entretanto, o cultivo dessas plantações requer fertilizantes à base de combustível, o que pode causar um balanço energético negativo, como é o caso do milho.

¹ Tradução de Denise Machado. E-mail: denisemachado@gmail.com

² D.Sc. University of Goettingen. Universidade de Guelph. E-mail: pvanstra@uoguelph.ca

Neste caso, há necessidade de mais energia para a produção de fertilizantes à base de nitrogênio, para os métodos de produção intensiva, para o transporte dos produtos agrícolas aos campos de processamento e para levar os biocombustíveis aos consumidores. Esses plantios requerem uma quantidade de energia fóssil maior do que a quantidade de biocombustível produzida

Novas tecnologias de conversão energética da biomassa incluem o uso de plantas perenes que crescem em terrenos agrícolas abandonados e degradados, como a grama (Sampson et al., 2008), restos de cultivos, restos de madeira e resíduos florestais ricos em celulose, além de matéria-prima à base de algas.

A utilização de pó de rochas e minerais como recursos multinutrientes para o desenvolvimento agrícola já havia sido testada no final do Século XIX (Hensel, 1890; 1894: 'bread from stones'). Recentemente, recebeu atenção de projetos de pesquisa, de conferências internacionais (Fyfe et al., 2006; van Straaten e Oram, 2009) e de publicações de livros, por exemplo, Rochagem, Agrominerais da África Subsaariana (van Straaten, 2002) e Agrogeologia: o Uso da Rochagem (van Straaten, 2007).

Aumentos nos preços dos fertilizantes

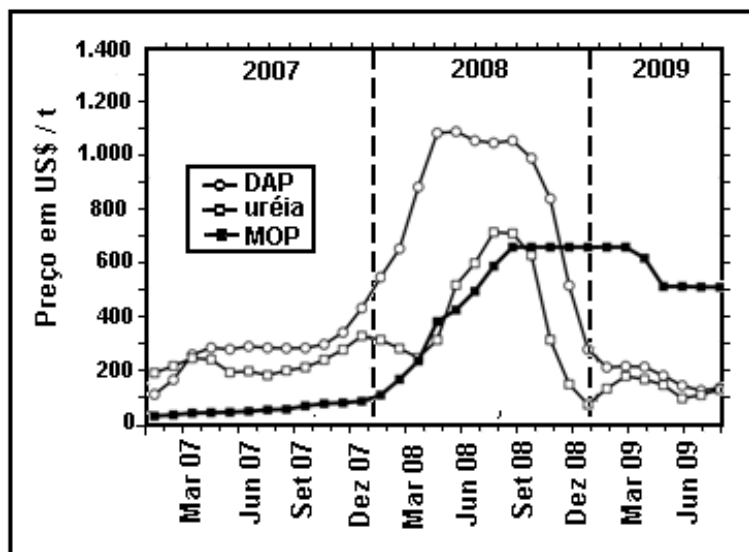
A produção industrial de fertilizantes, mais especificamente de fertilizantes à base de nitrogênio, consome quantidades significativas de recursos naturais não-renováveis, como o gás natural. Os fertilizantes à base de nitrogênio possuem o maior consumo de energia por unidade, com 44,5-54 GJ por tonelada de nitrogênio, em comparação com a produção de fertilizantes de potássio, que consome 7,1 GJ/t K, e 4,4-7,3 GJ/t P para a produção de fertilizantes à base de fósforo (Kongshaug, 1998). O gás natural é a principal matéria-prima para a produção de amônia, uréia e outros fertilizantes de nitrogênio. Desta forma, o preço dos fertilizantes está diretamente relacionado à oscilação dos preços dos recursos naturais não-renováveis.

Em 2008, pouco antes da recente recessão, o mundo experimentou drásticos aumentos nos preços dos fertilizantes. Os fertilizantes à base de nitrogênio, diretamente ligados ao preço e à disponibilidade do gás natural, sofreram alta no final de 2008. Em 2004, o preço da uréia era inferior a 200 US\$/t e, em agosto de 2008, atingiu o valor de 835 US\$/t. A rocha fosfatada, matéria-prima necessária à produção de fertilizantes à base de fósforo, subiu de menos de 50 US\$/t, em 2007, para 430 US\$/t, em 2008, devido à escassez de suprimentos causada pelo aumento da demanda de países como a Índia e a China. O preço do fosfato diamônico (DAP), um fertilizante à base de nitrogênio e fósforo, atingiu o valor de 1.200 US\$/t em meados de 2009, enquanto seu preço, em 2007, era de 400 US\$/t (Figura 1). Da mesma forma, os fertilizantes à base de potássio também sofreram, nos últimos anos, altas de preços, que foram de 200 US\$/t, em 2007, para 800 US\$/t, no final de 2008.

Durante os anos de recessão, os fertilizantes à base de nitrogênio e fósforo tiveram uma considerável queda de preços, ao contrário dos fertilizantes à base de potássio. Na maioria dos casos, os preços da matéria-prima são baseados na disponibilidade de combustíveis fósseis não-renováveis baratos e nos preços relativamente baixos de recursos não-renováveis de fosfato e potássio.

As perspectivas de longo prazo para a agricultura convencional de alta dependência de insumos, indicam que essa será fortemente impactada pela redução das disponibilidades de combustíveis fósseis, fertilizantes nitrogenados ("Pico do Petróleo", Royal Dutch Shell, 2008), minério de fosfato de alto teor e água para irrigação. Segundo Déry e Anderson (2007), Cordell *et al.* (2009), Vaccari (2009) e Gilbert (2009), as reservas mundiais de minério de fosfato de alto teor podem se esgotar entre 50 e 125 anos.

Em 2008, aproximadamente 161 milhões de toneladas de rochas fosfatadas foram exploradas de 15 bilhões de toneladas de reservas lavráveis. Segundo estimativas do *US Geological Survey* (USGS), os recursos mundiais são de 62 bilhões de toneladas. Projeções calculadas por pesquisadores indicam que o mundo somente poderá alcançar o "Pico do Fósforo", entre 2030 e 2040, se esforços mais intensos não forem feitos para conservar, converter, por exemplo, o fósforo encontrado na água residual (*waste water*) e no esterco e se não fizermos uso eficiente dos fertilizantes à base de fósforo (Cordell *et al.*, 2009; Gilbert, 2009).



Fonte: Manning, 2009.

Nota: DAP (fosfato diamônico), ureia, e MOP (muriato de potássio ou cloreto de potássio).

Figura 1 - Oscilação dos preços dos fertilizantes 2007-2009.

Em relação ao fósforo, mesmo que possamos prolongar e conservar os recursos, encontrar novos depósitos, reciclar grandes quantidades, conseguir reforçar o seu uso ou produzir fertilizantes à base de fósforo de baixo teor a preços elevados, no futuro, a segurança alimentar, a ração animal e a produção de biocombustíveis vão se deparar com o dilema geológico de recursos não-renováveis limitados. As previsões sobre quando o “Pico do Fósforo” acontecerá serão definidas com o passar dos anos, quando informações atualizadas estiverem disponíveis e mais pesquisa e desenvolvimento tenham passado por reciclagem. Nenhuma das previsões contestam que o “Pico do Petróleo” e o “Pico do Fósforo” acontecerão um dia, mas o momento em que acontecerão é incerto e passível de discussão entre geocientistas, políticos e a indústria. Além disso, há a ameaça das mudanças climáticas, que aciona a descoberta de métodos para reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa, principalmente o CO₂. No final deste trabalho, há uma discussão sobre o intemperismo e o subsequente sequestro de carbono em alguns minerais e rochas silicáticas ricas em magnésio.

NECESSIDADES DOS CULTIVOS

O cultivo de culturas de alimentação para humanos, de ração animal e de produtos agrícolas necessários à produção de biocombustíveis (etanol e biodiesel) requer solos de boa qualidade, com quantidades adequadas de nutrientes, de água suficiente e de energia para plantar e processar essas culturas. Uma compilação sobre a origem, o *habitat* ambiental e as necessidades nutritivas das principais culturas de alimentos encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Cultivos anuais, origem e *habitat*, necessidades nutritivas para a produção de alimentação para humanos e de ração animal.

Cultivo	Origem	Condições climáticas de crescimento do <i>habitat</i> original	Condições de fertilidade do solo do <i>habitat</i> original	Necessidades nutritivas	Reação do solo (pH)
Culturas anuais de alimentos					
Trigo, cevada	Fértil Crescente Oriente Médio	Fria, sazonal	Ca elevado, Solos vulcânicos	Moderada	5.5-8, ideal 6-7
Milho	México	Quente	Solos calcários	Elevada	5-8, ideal 6-7
Arroz (com casca)	China	Quente, úmida	Moderada	N elevado	4-8, ideal 5-6.5
Batata	Andes	Fria, sazonal	Moderada	Potássio elevado	
Feijão	Andes, Mesoamérica	Quente	Moderada, matéria orgânica elevada	Moderada	5.5-7.5, ideal 6-7
Soja	China	Fria, sazonal	Elevada	Moderada	ideal 6-6.8
Sorgo, milheto	África Central, China	Quente e seca, sazonal, árido, resistente	Moderada	N elevado	
Culturas de alimentos perenes					
Banana	Sudeste da Ásia	Quente, precipitação constante	Moderada, matéria orgânica elevada	N, K elevados	4-8, ideal 6-7.5
Árvores frutíferas, por exemplo, cítricos, mamão, papaia	China (cítricos), Mesoamérica (mamão, papaia)	Subtropical - tropical	Moderada	Elevado	
Vegetais	Variada	Temperado a tropical	Elevado	Elevado	6-6.5

Em contraste com os cultivos anuais, a cultura perene e as árvores requerem tempo de crescimento maior e precisam de nutrientes por um período de tempo prolongado. Por isso, necessitam que os nutrientes sejam liberados de forma mais lenta, por exemplo, de rochas e minerais.

Com base nos dados das Tabelas 1 e 2, pode-se observar que a maioria dos cultivos de alimentação para humanos e de ração animal são culturas anuais e muitos dos cultivos para a produção de biocombustível são perenes e apresentam crescimento lento. Algumas culturas fornecem, simultaneamente, alimentação para humanos, ração animal e biocombustíveis, como, por exemplo, a soja, mas a sua extração causa outras preocupações (Smaling *et al.*, 2008). Na América do Norte, as mudanças nas preferências alimentares para uma dieta à base de carne fez com que o uso do solo passasse de uma cultura de cultivo de alimentos para pastagem.

Tabela 2 - Culturas de biocombustível: origem e condições ambientais de crescimento.

Cultura	Origem	Condições climáticas de crescimento do habitat original	Condições de fertilidade do solo do habitat original	Necessidades nutritivas	Reação do solo (pH)
Cana-de-açúcar	Nova Guiné	Quente, chuva o ano inteiro	Baixas	N, K elevados	4.5-8.5, ideal 6.5
Óleo de Palma	Costa Oeste da África	Quente, chuva o ano inteiro	Baixas, requer K e Mg	N, K, Mg, B	Moderada
Canola	Leste Mediterrâneo		Ca elevado	P, K, Ca, Mg	6.5-7
Soja	China Central	Fria, sazonal	Ca elevado	P, K, Ca	5-7, ideal 6
Pinhão manso (jatropha curcas)	Mesoamérica	Quente, seco, árido tolerante	Baixas	Baixas	
Árvores para biomassa	Variada	Variadas	Geralmente baixas	Baixas	Geralmente baixas

As culturas anuais e perenes produzem ótimas colheitas quando são providas de doses suficientes de nutrientes na forma de fertilizantes ou esterco, quando os solos são submetidos à calagem para a correção do pH e por meio da adição de pesticidas e água em quantidade e qualidade adequadas. Essas culturas são, em grande parte, dependentes de nutrientes externos, como N, P, K, Ca, Mg, S e de micronutrientes, que são recursos nutritivos de origem geológica que se tornarão mais raros e mais caros no futuro. Uma relação dos nutrientes das plantas e de suas principais funções está ilustrada na Tabela 3.

Todos os cultivos necessitam de nutrientes suficientes, de condições climáticas adequadas, além de luz e água para se desenvolver. À exceção do nitrogênio, todos os nutrientes necessários às plantas são de origem geológica. Até mesmo a produção industrial de fertilizantes de nitrogênio requer matéria-prima geológica, nesse caso, o gás natural.

Para a produção convencional de fertilizantes, a maioria desses recursos geológicos nutritivos tem que ser modificada para que esses se tornem solúveis e disponíveis às plantas. A seguir, serão enfocados os recursos geológicos nutritivos que não são convertidos em fertilizantes convencionais, mas que são rochas e minerais alternativos usados diretamente ou que são parcialmente modificados para a produção de alimentação para humanos, de ração animal e de biocombustíveis.

Tabela 3 - Nutrientes das plantas, funções nas plantas, fontes de nutrientes naturais e fontes de nutrientes geológicos.

Nutriente	Função nas plantas	Fontes de nutrientes naturais	Nutrientes geológicos
Nitrogênio	Crescimento vegetativo, essencial para a fotossíntese, blocos de construção das proteínas	Matéria orgânica, esterco, fixação biológica de nitrogênio (FBN)	Depósitos naturais de nitrato (Chile) Gás natural como matéria-prima para a síntese de amônia em fertilizantes de nitrogênio
Fósforo	Armazenamento e transferência de energia, necessário para o desenvolvimento da raiz e sementes	Minerais primários, fontes orgânicas de P	Rocha fosfática, principal mineral = apatita
Potássio	Compõe os fluidos das células internas, promove e regula a ativação enzimática, suporta o transporte de carboidratos, aumenta a eficiência do uso de água, resiste aos efeitos de aridez e doenças	Minerais primários, argilas e resíduos orgânicos	Silicatos de potássio: flogopita e biotita; feldspatóides como leucita e nefelina; glauconita; ilita; K-feldspato. Sais de potássio: silvita, carnalita, kainita e langbeinita
Enxofre	Nos aminoácidos, proteínas e óleos	Predominantemente matéria orgânica	Anidrita (CaSO_4), Gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Pirita e Marcasita (FeS_2), S elementar (S^0)
Cálcio	Compõe a parede celular	Mineral primário, adsorvido em argila e matéria orgânica	Carbonato de Cálcio (CaCO_3); Dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$); Gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); Silicatos de Cálcio
Magnésio	Crucial para a fotossíntese; formação de enzimas	Mineral primário, adsorvido em argilas e matéria orgânica	Dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$); Magnesita (MgCO_3); Silicatos de Magnésio
Micro-nutrientes	Essencial para as enzimas	Com exceção dos boratos, a partir de depósitos de metais	Principalmente silicatos máficos; sulfetos metálicos; boratos

As rochas e minerais necessários à agricultura podem ser divididos nas categorias descritas a seguir:

- rochas e minerais fontes de nutrientes: nesse grupo são incluídos todos os recursos geológicos para a fabricação de fertilizantes solúveis convencionais por meio de reações com produtos químicos, além daqueles recursos geológicos que podem ser modificados utilizando-se ferramentas físicas, bioquímicas e biológicas simples, com uso de tecnologias apropriadas e materiais disponíveis no local. Os recursos geológicos incluem: rochas fosfáticas, silicatos de potássio, carbonatos de Ca e Mg, silicatos de Ca e Mg, gipsita e micronutrientes minerais, como os boratos.
- rochas e minerais para a melhoria física dos solos e meios de crescimento. Incluem materiais como: vermiculita, perlita, pedra-pome, e argilas para solos arenosos.
- minerais como transportadores de nutrientes e pesticidas, tais como: perlita, pedra-pome, vermiculita e zeólita.
- aditivos para ração animal, como por exemplo: bentonita, zeólita.
- meios de crescimento com auxílio de casa de vegetação.

- material geológico para sequestro de carbono.

A seguir, serão estudados os materiais geológicos “alternativos”, rochas e minerais, que podem fornecer nutrientes por meio de processos acelerados de liberação de nutrientes e de processos alternativos de modificação física, bioquímica e biológica. Entretanto, não iremos tratar dos processos de agrominerais que levam aos fertilizantes convencionais. Ao final deste capítulo daremos algumas idéias sobre o uso potencial de minerais para o sequestro de carbono na agricultura e silvicultura.

Rocha Fosfática (RF)

O fósforo é essencial para o crescimento adequado das raízes e para o desenvolvimento de frutas e sementes. Ao contrário do nitrogênio, o fósforo ocorre nas formas orgânica e mineral, sendo extraído de rochas como a apatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$). Enquanto a matéria-prima para a nutrição de culturas à base de ferro é a mesma dos fertilizantes solúveis de fósforo, o tratamento das rochas fosfáticas é diferente. A forma mais fácil de fertilização à base de fósforo consiste na aplicação direta de rocha fosfática com seu componente mineral principal, a apatita. As rochas fosfáticas são lavradas, britadas e moídas antes de serem incorporadas aos solos. Entretanto, apenas pouquíssimas rochas fosfáticas são próprias para a aplicação direta devido a parâmetros químicos e mineralógicos. Em geral, as rochas fosfáticas sedimentares são mais reativas do que as fosfáticas ígneas e, quanto mais velhas forem as rochas fosfáticas sedimentares, menor a sua reatividade.

A eficiência agrônômica da rocha fosfática para aplicação direta é determinada:

- pela natureza da rocha fosfática (fator rocha).
- pelas condições do solo (fator solo).
- pelo tipo de plantio a ser cultivado (fator plantio).
- pelas práticas de manejo do solo (fator manejo).

A maior eficiência agrônômica será alcançada quando todos esses quatro fatores atingirem seus níveis ideais (van Straaten, 2007). A composição química e mineralógica é crucial à reatividade das rochas fosfáticas (Hammond *et al.*, 1986; Van Kauwenbergh, 1993). Há poucas rochas fosfáticas no mundo, com reatividade suficiente que as tornem economicamente viáveis para a aplicação direta. A maior parte delas requer algum tipo de beneficiamento, concentração física e subsequente modificação para que sejam agronomicamente eficazes.

MODIFICAÇÃO DA ROCHA FOSFÁTICA

Existem vários processos de modificação cujo objetivo é fazer com que nutrientes de rocha fosfática de baixa reatividade tornem-se mais disponíveis às plantas. Na Tabela 4, estão relacionadas as técnicas de modificação física, química e biológica que são estudadas e testadas com apatita-fosfato de cálcio, o principal mineral encontrado nas rochas fosfáticas.

Essas técnicas de modificação de rocha fosfática servem como modelo para modificação de outras rochas e minerais, tais como os silicatos potássicos.

Tabela 4 - Processos de modificação de rochas fosfáticas.

Tipo de Modificação	Método
Modificação física	Moagem fina
Modificação físico-química	Ativação mecânica
Modificação química	Processos térmicos
	Acidulação
	Acidulação parcial
	Mistura com enxofre elementar acidificante
	Lixiviação em pilha
	Blendagem e granulação
	Troca iônica – por exemplo, com zeólitas
Modificação biológica	Compostagem
	Mistura com adubação verde
	Biossolubilização com micro-organismos
	Uso de pó de coco – (<i>coir dust</i>)
	Inoculação micorrízica

As técnicas de modificação que fazem com que mais fósforo se torne disponível a partir de rochas fosfáticas não-reativas são descritas em detalhes por van Straaten (2007). Para a execução de todas as técnicas de modificação, há importantes pré-condições, como a britagem e a moagem fina, realizadas por meio de vários processos como britagens primária e secundária, seguidos de moagens com barras e bolas em moinhos semi-autógenas (SAG) ou, no caso de processos de baixa tecnologia, com a utilização de moinhos de bolas locais ou outro equipamento de moagem.

Lim *et al.* (2003) mostraram que a moagem com bolas induziu reações físicas e químicas em rochas fosfáticas com moagem fina. Novas técnicas de moagem usando rolos de alta pressão (HPGR) constituem outras rotas potenciais para aumentar a disponibilidade de fósforo a partir de rocha fosfática, devido à sua alta eficiência energética e à capacidade de induzir microfaturas e a liberação dos componentes minerais (Daniel e Morrell, 2004). Até agora, nenhuma rocha fosfática ou outros materiais geológicos ricos em nutrientes foram testados com esse tipo de moagem. Essas técnicas são promissoras, todavia se faz necessário o desenvolvimento de pesquisas nessa área.

Outras técnicas importantes de modificação de rocha fosfática incluem processos térmicos que resultam nos termofosfatos, incluindo o fosfato de Rhenania, fosfato magnésiano fundido (FMP- *Fused Magnesium Phosphate*) e os fosfatos de alumínio (Al) calcinados.

Dentre as outras técnicas de modificação com considerável futuro, estão a blendagem e compactação de rochas fosfáticas, a dissolução microbiológica melhorada e o uso de micorrizas para reforçar a absorção de fósforo pelas plantas (van Straaten, 2007).

FONTES ALTERNATIVAS DE FOSFATO

A apatita, fosfato de cálcio, é a fonte mais comum de fósforo para a produção de fertilizantes à base de fósforo, sua aplicação direta e modificação de rocha fosfática. Outras fontes de fósforo são os fosfatos de Al e Fe, por exemplo, a crandallita e a millisita, encontradas em ambientes com intemperismo tropical.

Entretanto, as fontes de Al e P não são muito solúveis e contêm Al, que é tóxico ao ambiente de raiz. Por essa razão, tais fontes são, em grande parte, impróprias à aplicação direta em sua forma original. Entretanto, os fosfatos aluminosos podem ser calcinados, por exemplo, em reator de leito fluidizado, para aumentar o grau e a solubilidade, sendo usados em solos alcalinos em campos de arroz inundados (van Straaten, 2007). No Senegal, os fosfatos aluminosos da região de Thiès são calcinados e concentrados a 34% P₂O₅ e vendidos como ração animal (van Straaten, 2002).

Uma tecnologia relativamente recente está ligada à recuperação de fósforo da água residual (*waste water*). O fósforo é recuperado na forma de estruvita (MgNH₄PO₄·6H₂O), um hexahidrato de magnésio amônio e fosfato (MAP), que contém aproximadamente 12% de P (27,5% P₂O₅), 5,7% de NH₄-N e 9,5% de Mg (Forrest et al., 2008). A estruvita pode ser recuperada por precipitação controlada do esgoto municipal ou água residual, lixiviados de aterros sanitários, lixo industrial, esterco bovino e urina humana (Battistoni et al., 1997; Schuiling e Anrade, 1999; Adnan et al., 2003; Forrest et al., 2008). Em várias estações de tratamento de água residual no Canadá, Estados Unidos, Japão, Holanda, Alemanha e Itália, a estruvita recuperada é comercializada e vendida como adubo de liberação lenta ambientalmente amigável. No Japão, vários reatores de leito fluidizado estão produzindo a pleno vapor e a estruvita recuperada foi vendida, em 2001, pelo preço de US\$ 250/t (Forrest et al., 2008). Várias usinas de recuperação de estruvita estão em construção em diversos países.

O fosfogesso é um subproduto da indústria de fertilizantes superfosfatados, mas com baixíssimos teores de fósforo. O fosfogesso, normalmente, contém menos de 0,5% de P₂O₅ e, por ser relativamente solúvel, é usado principalmente na correção física dos solos, para diminuir a formação de selo em solos sódicos e para reduzir a toxicidade por Al em subsolos ácidos (Keren e Shainberg, 1981; Sumner, 1993).

EXEMPLOS DA UTILIZAÇÃO E PESQUISA DE ROCHA FOSFÁTICA

Burkina Faso

Com solo semiárido, o Burkina Faso é um país localizado na África Ocidental e se estende pelo Deserto do Saara. Como vários outros países daquela região, o país possui pequenos depósitos de fosfato neoproterozóico de origem sedimentar. Atualmente, o país fornece cerca de 3.000 t de rocha fosfática e moída do Burkina (RFB), como aplicação direta de fertilizante à base de fosfato para produtores agrícolas locais. A reatividade e o rendimento de resposta à aplicação da rocha fosfatática do Burkina são baixos, especialmente para o milho. A aplicação de rocha fosfática do Burkina Faso em plantações de feijão-caupi, uma cultura leguminosa indígena dependente da colonização por micorriza, proporcionou uma resposta positiva (Muleba e Coulibaly, 1999).

Uma técnica interessante e própria para a economia de água e dos nutrientes de rocha fosfática natural nessa região semiárida é o sistema zaï (Bonzi et al., 2007). O zaï é uma técnica de coleta de água praticada em partes semiáridas da África Ocidental em que buracos cavados na terra armazenam água durante as chuvas. Bonzi et al. (2007) mostraram que a adição de grãos finamente moídos de rocha fosfática do Burkina aos buracos zaï aumentaram a solubilidade da rocha fosfática do Burkina, com o passar do tempo. Os maiores rendimentos registrados nos campos zaï são em parte devidos à adição de matéria orgânica (cinco t/ha), o que provavelmente aumenta a disponibilidade e o uso de nutrientes pelos cultivos, podendo aumentar a solubilidade das rochas fosfáticas naturais devido à liberação de ácidos orgânicos advindos da matéria orgânica (Bonzi et al., 2007).

China

Na República Popular da China, há muitas fontes de fósforo sedimentar (fosforita): 15,7 bilhões de toneladas (Naiming et al., 2009), a maioria delas situadas nas províncias de Hubei, Hunan, Sichuan, Guizhou e Yunnan. Aproximadamente 65 milhões de toneladas de fosforita foram extraídas em 2008 (Chen, comunicação pessoal, 2009). Nesse país, a maior parte das rochas fosfáticas são transformadas em fertilizantes à base de fósforo. Quantidades menores são usadas nos fosfatos de magnésio fundido e na aplicação direta.

Uma pesquisa restrita de fosfato microbiológico com *aspergillus niger* é conduzida em Kuming, província de Yunnan, para reforçar a decomposição química de apatita.

Tanzânia e Quênia

Os fosfatos disponíveis no local são extraídos em Minjingu, nordeste da Tanzânia. A maior parte da rocha fosfática biológica e sedimentar finamente moída de Minjingu (Minjingu RF) é usada na aplicação direta na Tanzânia, substituindo a grande quantidade de fertilizantes importados de fósforo. Em 2008, o Governo da Tanzânia importou grande quantidade dessa rocha fosfática reativa, e cerca de 30.000 t foram vendidas aos pequenos fazendeiros no sul do país, a preços subsidiados.

As rochas fosfáticas de Minjingu também são exportadas para países vizinhos, incluindo o Quênia, onde são misturadas a outros agrominerais e fertilizantes à base de nitrogênio e distribuídas a pequenos produtores (Seward, 2009). Em 2008, a Athi River Mining Ltd, empresa local, acondicionou a mistura em sacos de 1 kg e os vendeu aos fazendeiros locais, a preços não subsidiados.

Como parte das tentativas de manejo melhorado de fertilidade do solo para o pequeno produtor no Quênia, outro pacote para produtores agrícolas de baixa-renda foi testado no final dos anos 90. Esse pacote de baixo custo para o pequeno produtor no oeste do país, chamado PREP-PAC (Woomer *et al.*, 2003, Ruto *et al.*, 2007), consiste em 2 kg de rocha fosfática sedimentar finamente moída disponível no local (Minjingu RF), 200 g de uréia, sementes de vários legumes com fixação simbiótica de nitrogênio, inoculante de rizóbio, *gum arabic seed adhesive* e cal para a pelotização das sementes. A embalagem contém instruções de uso em inglês e *suahili* e é usada em terrenos pequenos e inférteis (25 m²), no oeste do Quênia, sendo produzida a um custo de 0,56 centavos de dólar por pacote.

Karanja *et al.* (2001) demonstraram que a rocha fosfática do Minjingu inoculada com micorriza arbuscular melhorou a absorção de fósforo pelas plantas e aumentou significativamente a produção de mudas de árvores de espécies agroflorestais, especialmente em solos ácidos e com baixo teor de fósforo.

Índia

Os depósitos de rocha fosfática da Índia são limitados e poucos são próprios à aplicação direta, como, por exemplo, as rochas fosfáticas de Mussoorie, no norte do país. Outros depósitos estão localizados na Bengala Ocidental e no Rajastão. Devido à elevada demanda, a maior parte dessas rochas usadas na Índia, para a produção de fertilizantes à base de fósforo, é importada.

Sharma *et al.* (2009) conduziram testes de campo usando fertilizantes convencionais à base de fósforo (Fosfato Diamônico - DAP) e fontes locais de rocha fosfática, nesse caso, a rocha sedimentar do Mussoorie, norte da Índia. Eles mediram a relativa eficácia agronômica do fosfato diamônico (DAP) em comparação com a rocha do Mussoorie (RFM) isolada e inoculada com bactérias solubilizadoras de fósforo (BSP) (RFM+BSP). A aplicação de fósforo aumentou significativamente a produtividade desse sistema, caracterizando a maior eficácia agronômica já alcançada por DAP e RFM+BSP.

Sri Lanka

O depósito de rocha fosfática de Eppawela é a única fonte local de fósforo do Sri Lanka. A usina de processamento em Eppawela produz cerca de 45.000 t/ano (Dr. Udawatte, comunicação pessoal, 2009). A produção inteira é usada em aplicações diretas no Sri Lanka. Do total, 20.000 a 25.000 t da rocha relativamente não-reativas são aplicadas em cultivos de chá como fertilizante de manutenção, e o resto é utilizado no cultivo de culturas perenes, como a borracha e o coco. Apenas uma pequena tonelagem é usada na produção de fertilizantes orgânicos.

Malásia

A Malásia possui solos altamente intemperizados, ácidos e com baixo teor de nutrientes, principalmente de fósforo. A área plantada com culturas, especialmente óleo de palma, excede a de cultura de alimentos numa relação de 10:3. Em 2000, a Malásia importou 2 milhões de toneladas de rocha fosfática reativa, principalmente da Jordânia, Tunísia, Carolina do Norte (EUA) e de rocha fosfática de baixa reatividade das Ilhas Natal.

Testes usando rocha fosfática moída em culturas perenes, como cacau, árvores florestais, pimenta, borraça, óleo de palma e plantações de frutas, assim como em culturas anuais de arroz, milho e leguminosas, como a soja, amendoim e mucuna, são relatados por Yusdar e Hanafi (2001). Eles mostraram as diferentes respostas das fontes de fósforo em variadas culturas e concluíram que o uso de rochas fosfáticas compara-se ao uso de fontes solúveis de fósforo em culturas perenes. Porém, em culturas anuais, o uso de rochas fosfáticas foi menos eficiente do que o uso de fontes solúveis de fósforo. Em todos os casos, o efeito residual da aplicação de rocha fosfática em culturas subsequentes foi considerável.

Zin *et al.* (2001) demonstraram a eficiência das rochas fosfáticas reativas no crescimento de óleo de palma e mostraram que as fontes solúveis de fósforo foram mais eficientes nas mudas e nos estágios iniciais de crescimento. O uso de rochas fosfáticas reativas foi bastante eficiente em relação às fontes solúveis de fósforo na produção de óleo de palma madura.

Nigéria

Os recursos agrogeológicos da Nigéria incluem rochas fosfáticas sedimentares de baixo teor no norte do país (van Straaten, 2002). Ainda assim, a maior parte dos fertilizantes de fósforo e potássio da Nigéria é importada.

Uma nova e interessante abordagem em relação ao problema de reforço da disponibilidade do fosfato à base de rochas fosfáticas pouco reativas ou não-reativas tem a ver com o uso de métodos biológicos na rotação de culturas milho-legumes. Testes de campo na Nigéria mostraram que os legumes herbáceos ou em grãos mobilizam o fósforo das rochas fosfáticas de baixa reatividade, e a cultura de milho que precede esses legumes se beneficia da plantação anterior (Vanlauwe *et al.*, 2000).

Zâmbia

Situado no centro-sul da África, esse país é dotado apenas de depósitos de fosfato de baixo teor e baixa reatividade, principalmente de origem ígnea. Como a aplicação direta dessas rochas fosfáticas não-reativas é ineficiente, pesquisadores decidiram pela modificação desses fosfatos. Uma técnica de processamento considerada tecnicamente eficiente é a acidulação parcial (PAPR), mas, por várias razões, tal técnica não teve comercialização.

Fazer com que os legumes solubilizem parcialmente as rochas fosfáticas e que as culturas ou arbustos subsequentes utilizem o fósforo disponível tem sido o princípio de um experimento de Munsanje (2007). Rocha fosfática moída de Chilembwe, Zâmbia Oriental, foi aplicada ao redor de árvores fixadoras de N (*Faidherbia albida*), e o fósforo da rocha fosfática foi absorvido pela cultura subsequente de *Tithonia diversifolia*, que é uma “planta fertilizante” que libera nutrientes facilmente numa taxa de N, P e K: 4% - 0,4% - 4%, respectivamente. Essa técnica integrada de manejo de nutrientes ainda está em caráter experimental.

Zimbabwe

Uma empresa deste país explora rocha fosfática ígnea de baixa reatividade de sua mina em Dorowa e produz fertilizantes solúveis de ferro de alta qualidade, principalmente para uso na agricultura de larga escala.

Ao longo dos últimos anos, van Straaten e Fernandes (1995), Dhliwayo (1999) e Tagwira (2001) buscaram uma abordagem original para produzir fertilizantes à base de fósforo de baixo custo em “áreas comuns” para pequenos produtores que não podem custear fertilizantes convencionais à base de fósforo. A pesquisa aplicada, levada a efeito na Universidade de Zimbábue, produziu uma mistura de fosfato pelotizado que consiste em 30 a 50% de rocha fosfática do depósito local de fosfato de Dorowa e 10 a 50% de TSP também produzido no local. Essas misturas de fósforo com propriedades acidificantes são pelotizadas e, em seguida, incorporadas ao esterco bovino. A compostagem indicou uma resposta de cultura reforçada. Tal intervenção resultou em aumentos na produção de milho à razão de 2 a 4 (Dhliwayo, 1999; Tagwira, 2001). Esse método é atualmente usado por centenas de produtores com poucos recursos nas pequenas fazendas do Zimbábue Oriental (Mbwera pers. comm. 2009).

SILICATOS DE POTÁSSIO

A principal fonte de potássio em fertilizantes são os sais solúveis de potássio encontrados em depósitos de evaporitos. Entretanto, esses depósitos não estão distribuídos de modo uniforme mundo afora. O Canadá, a Rússia, a Bielorrússia e a Alemanha são os maiores produtores de cloreto de potássio (*potash*), seguidos por Israel, Jordânia e Estados Unidos. Na América do Sul e na Ásia, apenas poucos depósitos são explorados. A China e a Índia, duas das nações emergentes, quase não possuem depósitos de cloreto de potássio. Também não existem minas em exploração desse mineral na África, e os depósitos conhecidos são muito poucos.

A China importou, aproximadamente, 6 milhões de toneladas de cloreto de potássio em 2008, e o governo está colocando, como prioridade máxima, a busca por métodos para aumentar a liberação de potássio das fontes locais, incluindo o feldspato e a illita (Sheng e He, 2005; Lian *et al.*, 2008).

FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO

Enquanto a rocha fosfática é a matéria-prima dos fertilizantes, convencionais e não convencionais, à base de fósforo, a fertilização alternativa à base de potássio é baseada em silicatos de potássio, especialmente o feldspato, a biotita, a flogopita, a muscovita e rochas portadoras dos feldspatóides leucita e nefelina, assim como os sedimentos ricos em argila, especificamente a illita. Fontes alternativas de silicato de potássio são encontradas em grandes quantidades nos sedimentos ricos em illita, em vulcânicos ultrapotássicos e de flogopita/biotita associados com rochas intrusivas ultramáficas metamorfizadas, inclusive nos estéries (*wastes*) resultantes de operações de lavra de vermiculita e carbonatito.

A concentração de potássio (%K₂O) nos minerais portadores, em depósitos de sal estratificado, evaporitos, varia de 17 a 63%. A carnallita (KCl · MgCl · 6H₂O) contém 17% de K₂O equivalente, a kainita (4KCl.4MgSO₄.11H₂O), 19% e a langbeinita (K₂SO₄.2MgSO₄), 22%. A silvita (ou MOP, ‘muriático de potássio’ em jargão industrial) contém a maior porcentagem de K₂O, com 63%. As porcentagens de K₂O em alguns minerais de silicatos potássicos são muito menores e menos solúveis (Tabela 5).

Tabela 5 - Minerais silicatados portadores de potássio e suas concentrações de potássio.

Mineral	Fórmula química	% K ₂ O
Leucita	KAlSi ₂ O ₆	20-21
Feldspato potássico	KAlSi ₃ O ₈	8-15
Biotita	K(Mg,Fe) ₃ (Al,Fe ³⁺)Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	7-10
Flogopita	K(Mg,Fe) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂	7-11
Muscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	7-11
Glauconita	(K,Na)(Fe ³⁺ Al,Mg) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	6-8
Illita (mica, argila)	(K,H ₃ O)(Al,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,(H ₂ O)]	4-8

Elevadas concentrações de mica potássica preta são encontradas nas ultramáficas intrusivas metamorfizadas, em muitos países com basamento geológico, como, por exemplo, no Malawi (Morel, 1988). Esses

glimmeritos (do vocábulo alemão *glimmer* – mica) são compostos quase totalmente por flogopita ou mica biotita. Algumas amostras contêm pequenas quantidades de nefelina e apatita. No Malawi, os glimmeritos em Kapirikamodzi ocorrem na forma de corpos com centenas de metros de largura, com mais de 1,2 km de extensão (Morel, 1988). As análises químicas dos glimmeritos no Malawi mostram 8,5 a 9,5% de K_2O ; 21,5 a 24% de MgO ; 0,1 a 2,4% de CaO e baixas concentrações de Na_2O (0,4 a 0,6%). As concentrações de Ni e Ba são elevadas, sendo que as de Ni atingem cerca de 800 mg/kg e as de Ba figuram entre 3.500 e 4.000 mg kg^{-1} . O elemento-traço (as relações de CaO e Mg/Fe) indica que essas rochas são derivadas de peridotitos, harzburgitos ou kimberlitos.

As altas concentrações de flogopita são descritas com base nas fases de substituição hidrotérmica em mica-piroxênios, por exemplo em Bukusu, Uganda, Dorowa, Zimbabue (Heinrich, 1980), em Kovdor, Rússia (Krasnova, 2001), Siilinjärvi, Finlândia e Phalaborwa, na África do Sul. Em muitos carbonatitos associados a piroxênios, grandes quantidades de flogopita têm sido encontradas. Durante a extração, grandes quantidades desses recursos são jogados fora como rejeitos, como, por exemplo, na África do Sul e Rússia (Krasnova, 2001).

Os recursos de flogopita descartados no complexo de Phalaborwa excederam 1.500 milhões de toneladas. Processos de acidulação foram testados nesses “rejeitos” pelo Banco de Desenvolvimento Industrial do Governo da África do Sul (*IDC - Industrial Development Corporation*) e pela Foskor (produtora estatal de fosfato, controlada pelo IDC), no final dos anos 90. Entretanto, problemas técnicos impediram a produção de alumina, magnésia e sulfato potássico em escala industrial. Tal fato assemelha-se aos esforços fracassados, na Finlândia, do rejeito de flogopita, no complexo de carbonatito, em Siilinjärvi. Entretanto, novos experimentos realizados na Finlândia mostraram uma alta recuperação de potássio desses rejeitos de flogopita, por tratamento térmico (Aitta *et al.*, 1985).

ROCHAS VULCÂNICAS RICAS EM POTÁSSIO

Rochas vulcânicas moídas finamente foram classificadas por Le Bas *et al.* (1986) com base em sua composição química. Nota-se que os foiditos, tefritos e basanitos são subsaturados em sílica com concentrações variadas de álcalis. Os fonolitos e os foiditos contêm as maiores concentrações de Na_2O e K_2O combinados, normalmente acima de 12%.

As rochas vulcânicas finamente moídas, ricas em potássio, encontram-se em várias partes do mundo: na África (Uganda, Ruanda, República Democrática do Congo e Camarões), na Europa (Itália, Alemanha, Espanha), na Ásia (principalmente Indonésia), nas Américas (EUA, México), na Austrália e na Antártica (Gupta e Fyfe, 2003). Na Figura 2 ilustram-se as quantidades totais de álcalis e sílica nas rochas vulcânicas, mas não se evidenciam:

- os minerais nos quais esses íons ocorrem.
- as concentrações relativas de sódio e potássio.
- a disponibilidade para as plantas de outros cátions e suas relações catiônicas.

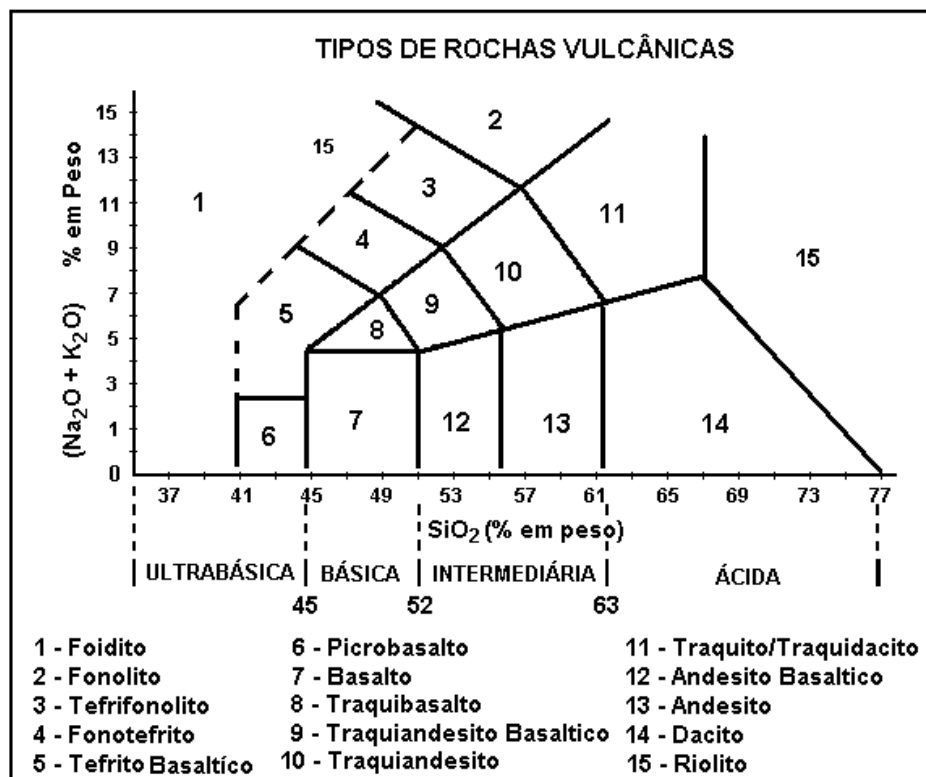


Figura 2 - Classificação química das rochas vulcânicas com base no álcali total x teor de sílica (Le Bas *et al.*, 1986).

Portanto, por razões práticas, é importante analisar não apenas as composições químicas totais, mas também a disponibilidade desses cátions nos extratores que simulam as condições de solo. Também é importante observar que a granulometria do material vulcânico, assim como a quantidade de material vítreo dessas rochas vulcânicas moídas têm um papel fundamental na disponibilidade de cátion para as plantas. Certamente, a moagem fina fornecerá áreas de superfície maiores para a liberação de nutrientes. Entretanto, os pequenos produtores geralmente reclamam da dificuldade de manusear materiais pulverulentos (pó) em suas terras.

COMPLEXOS ALCALINOS

Muitos tipos de rochas ricas em K e Na ocorrem nos complexos alcalinos, como, por exemplo, no complexo de Poços de Caldas, em Minas Gerais, e nos complexos intrusivos e extrusivos de carbonatito e kimberlito.

Devido aos altos teores de K e baixos teores de Na, as rochas ígneas ultramáficas e as máficas ultrapotássicas são de grande interesse, incluindo os kamafugitos (por exemplo, uganditos), os leucititos ultrapotássicos, os kimberlitos e os kimberlitos micáceos, assim como os shoshonitos (Mitchell e Bergman, 1991). Outras rochas ultrapotássicas também importantes são os lamproitos com razão molar de K_2O/Na_2O , normalmente acima de 3. Os lamproitos são rochas pretas finamente moídas com fenocristais de biotita, flogopita, anfibólio e piroxênio, mas não feldspato, que está localizado na massa moída. Esses ocorrem comumente como *sills* e diques e considera-se que derivem de fontes mantélicas (Mitchell e Bergman, 1991). A distribuição de lamproitos em relação ao kimberlito é mostrada na Figura 3.

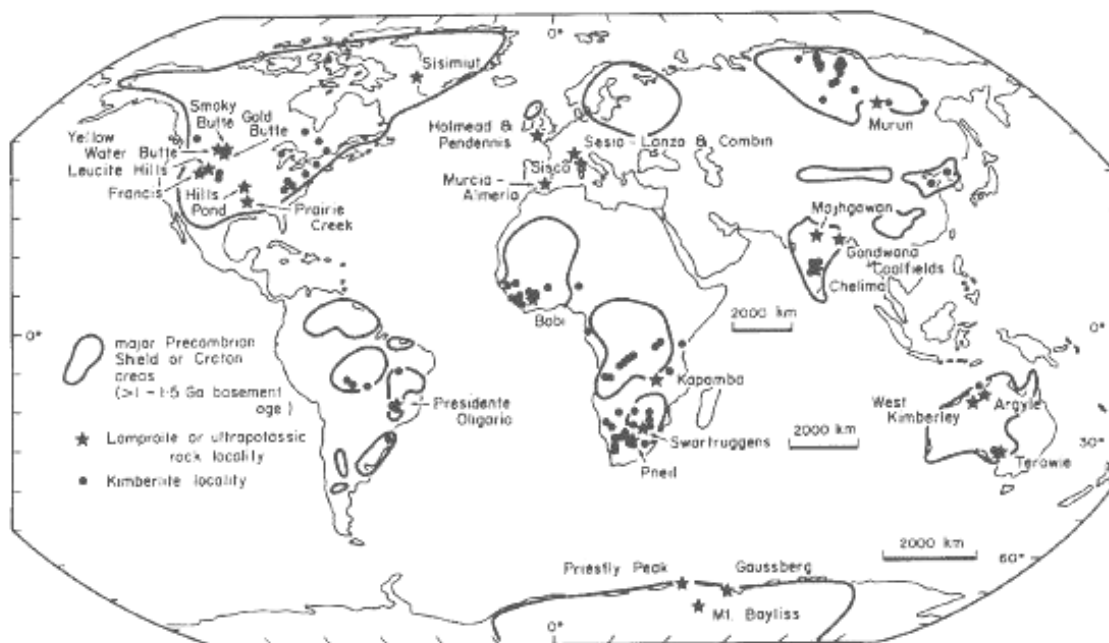


Figura 3 - Distribuição de lamprófiros em relação às províncias de kimberlito (Condie, 1986).

Considerando os altos teores de potássio e de outros elementos nutritivos, por exemplo, magnésio, muitos desses tipos de rocha alcalina complexa também poderiam ser usados como fertilizantes de rocha total (*whole rock*).

À exceção das rochas ultramáficas ultrapotássicas, em Presidente Olegário, (Mata da Corda, Minas Gerais), não se teve registro do uso dessas rochas para fins agrícolas. Rochas moídas dessa região foram usadas para aplicação agrícola por Theodoro e Leonardos (2006).

Utilização de rochas alternativas ricas em potássio

Até agora, poucas foram as publicações de pesquisa sobre as aplicações de mica na agricultura: Goldschmidt, 1954; Weerasuriya et al., 1993; Bakken et al., 1997 e 2000. Testes de campo na Noruega, realizados por Bakken et al. (1997 e 2000), utilizando várias rochas e rejeitos portadores desse macronutriente, mostraram que quantidades consideráveis de potássio estão disponíveis às plantas. Todavia, o silicato potássico de maior perspectiva é um concentrado de biotita (da produção de feldspato em Lillesand, na Noruega), a partir da nefelina nos complexos alcalinos, assim como alguns advindos de epidoto xisto.

Entretanto, a maior parte dos cientistas concluiu que a taxa de intemperismo da rocha e dos produtos minerais é bastante lenta para reabastecer o potássio consumido pelas plantas. Enquanto as micas em forma de folha liberaram quantidades consideráveis de potássio, a liberação desse nutriente contido na rede cristalina de silicatos foi insignificante e indisponível.

Atualmente, existe pouca aplicação direta desses tipos de rochas alternativas, exceto pelo pequeno uso de fonolito na horticultura, silvicultura e nos mercados orgânicos.

No final do século XIX, arenitos glauconíticos de silicato potássico de Nova Jersey foram usados nos Estados Unidos na correção de solos portadores de potássio de liberação lenta e de baixo teor (5 a 8%). Nos idos de 1860, a taxa anual de produção de arenitos glauconíticos era quase 1 milhão de toneladas. Hoje, os arenitos glauconíticos não são mais usados na correção de solo, mas utilizados, principalmente, na purificação de água (Markewicz e Lodding, 1983).

Há reservas consideráveis de glauconita em diversos países, incluindo Austrália, Brasil, Indonésia, Israel, Lituânia, Nova Zelândia, Rússia, África do Sul e Venezuela (Dooley, 2006). Atualmente, a Índia está lançando uma grande campanha de desenvolvimento dos recursos locais de glauconita. A principal pesquisa sobre as rochas alternativas ricas em potássio tem como foco aumentar a liberação desse macronutriente das micas pretas trioctaédricas e de outros silicatos potássicos.

Pesquisa sobre a liberação de potássio com base em mica

Por várias décadas, pesquisadores tentam achar mecanismos para a liberação de potássio dos silicatos. Um grupo de pesquisadores está usando métodos biológicos para reforçar a liberação de potássio, especialmente a partir dos filossilicatos biotita e flogopita. Filossilicatos di e trioctaédricos contêm potássio como cátion intercambiável. Esse íon K^+ compensa a carga negativa que surge a partir da substituição de cátion de Al^{3+} por Si^{4+} .

Por razões químicas e estruturais, a mica dioctaédrica (por exemplo, a muscovita) é menos prontamente intemperizada do que as micas trioctaédricas biotita e flogopita. A dissolução de feldspato tem sido, na verdade, sem êxito, algo inerente às ligações do potássio na rede cristalina da muscovita.

Enquanto a rocha fosfatada é basicamente composta pelo mineral apatita, um fosfato, os minerais de potássio de uso potencial na aplicação direta e na forma modificada são os silicatos. As modificações das rochas fosfáticas e dos silicatos de potássio são, portanto, diferentes em termos de mineralogia e estabilidade mineral. Entretanto, algumas das técnicas usadas para a quebra de apatita também têm que ser aplicadas aos silicatos potássicos, como por exemplo, técnicas microbiológicas.

A seguir, será feita uma atualização da pesquisa sobre a liberação de potássio contido em silicatos, com especial ênfase na pesquisa e desenvolvimento desses silicatos nos países em que esse macronutriente é importado, atualmente, em alta escala, particularmente a Índia e a China. Por exemplo, a China importou 6 milhões de toneladas de cloreto de potássio em 2008, e o governo está colocando como prioridade máxima a busca por métodos para aumentar a liberação de potássio das fontes locais, incluindo o feldspato e a illita (Sheng e He, 2005; Lian *et al.*, 2008).

DISSOLUÇÃO DOS SILICATOS DE POTÁSSIO POR TRATAMENTO QUÍMICO

Outra rota de liberação de potássio contido em silicatos é a dissolução química nos processos industriais. Nascimento (2004) demonstrou que a dissolução química do feldspato de potássio é possível usando ácidos (HCl, H_2SO_4 , HNO_3) e soluções alcalinas (NaOH) como agentes de lixiviação.

MODIFICAÇÃO BIOLÓGICA DOS SILICATOS POTÁSSICOS

Boyle *et al.* (1974) chegaram a demonstrar a eficácia da intemperização da biotita por ácidos cítricos e oxálicos, produzidos pelo metabolismo biológico e exsudação de raiz. Semelhantemente, Song e Huang (1988) demonstraram a taxa reforçada de liberação de potássio das micas portadoras de potássio, quando tratadas com ácidos cítricos e oxálicos. A sequência de liberação de potássio com base em silicatos por meio do tratamento com ácidos cítricos e oxálicos foi biotita>microclina>muscovita. Os ácidos cítricos e oxálicos são ligantes fortes que reforçam a liberação de potássio da biotita/flogopita. O ferro forroso da biotita na posição octaédrica pode ser complexado com oxalatos (ou citrato) levando à quebra de biotita e liberação de potássio da estrutura mineral. A complexação do íon Fe na biotita leva à liberação reforçada de potássio.

O ácido oxálico é geralmente encontrado na rizoesfera das plantas. Por exemplo, folhas de plantas de chá (*Camellia sinensis*) contêm alta concentração de ácido oxálico. Concentrações significativas de ácido oxálico também são encontradas nas folhas verdes de ruibarbo, carambola, salsinha, amaranto, espinafre, acelga, cacau e *tithonia diversifolia* (Ikerra *et al.*, 2007). O ácido oxálico também pode ser produzido por fungos, por exemplo, *Aspergillus*. Rossi (1978) mostrou que *Aspergillus niger*, *Scopulariopsis brevicaule* e *Penicillium expansum* lixiviaram entre 21 e 27% do potássio contido numa amostra de leucita ($KAlSi_2O_6$) da

Itália Central. Suspeita-se que os ácidos orgânicos, a acidulação ou a combinação dos dois foi responsável pela liberação de potássio da leucita.

Berthelin *et al.* (1991), Hinsinger e Jaillard (1993) e Hinsinger *et al.* (1993) estudaram a liberação de potássio da flogopita e da biotita no ambiente de raiz. Eles forneceram evidência de que as raízes de canola (*brassica napus*) e azevém (*lolium perene*) podem transformar a flogopita em vermiculita, liberando potássio (e Mg) das micas para a canola. As raízes e rizoosfera das plantas foram os agentes lixiviantes biológicos ativos que transformaram a flogopita e a biotita em vermiculita, com a concomitante liberação de potássio.

A transformação microbianamente mediada de flogopita em vermiculita foi descrita por Bigham *et al.* (2001). O intemperismo da mica trioctaédrica, como a flogopita, pode ser promovida por micro-organismos que excretam ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como, por exemplo, o ácido oxálico (Boyle *et al.*, 1974). A transformação de flogopita em vermiculita e uma camada mista de flogopita-vermiculita com a bactéria acidofílica oxidante de Fe *thiobacillus ferrooxidans* foi demonstrada por Bigham *et al.* (2001).

Em um experimento de laboratório, Lian *et al.* (2008) mostraram que a adição de *aspergillus fumigatus*, comumente encontrado em pilhas de compostagem (*compost heaps*), à folhelhos moídos como rocha hospedeira rica em potássio reforçou a liberação de potássio. Pesquisas realizadas na Índia (Basak e Biswas, 2009) mostraram que o rejeito de mica formado principalmente por muscovita estável inoculada com *bacillus mucilaginosus*, aumentou a liberação de potássio das bordas das micas e aumentou o crescimento da cultura teste do capim-sudão. O uso de micro-organismos contidos em minerais silicatados, na liberação reforçada de potássio, também foi alcançado pela inoculação de ilita da área de Nanjing, na China, com o *Bacillus edaphicus* (Sheng e He, 2006), resultando no crescimento reforçado do trigo. O aumento na taxa de liberação de potássio é causado pela liberação dos ácidos oxálicos e tartáricos das bactérias.

Weerasuriya *et al.* (1993) trataram o rejeito, finamente moído, de flogopita lixo, proveniente das minas de pegmatito, no Sri Lanka, com ácido nítrico e sulfúrico. O processo de acidulação libera até 65% de K e Mg, cerca de 13% de Ca e 15 a 100% de Mn e Zn da mica flogopita. Nos estudos de raio-X, eles descobriram que na mica tratada há redução dos picos de mica, os difratogramas de raio-X assemelham-se a materiais de baixa cristalinidade, com uma banda na região de 7 Å, parecendo caulinita desordenada. Os pesquisadores relataram que a aplicação de uma quantidade pequena (200 kg/ha) de mica flogopita granular não-higroscópica e acidulada resultou em um aumento na produção de arroz de mais de 41%, em comparação com as taxas recomendadas de aplicação de MOP/KCl e dolomita (Weerasuriya *et al.*, 1993).

Para testar a eficácia dos biofertilizantes de rochas, Stamford *et al.* (2006) conduziram estudos de campo na estação experimental de Carpina, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Brasil, usando: rocha fosfática natural de Irecê, na Bahia, com 25% de P; concentrado de biotita de Santa Luzia, na Paraíba, com 10% de K) e enxofre elementar (importado) inoculado com *acidithiobacillus*. O estudo mostrou que aplicações de *acidithiobacillus* + enxofre + concentrado de biotita (biotitito) + RF a uma taxa de $P_{120}K_{80}$ aumentou o N na matéria seca de caule de cana-de-açúcar, em comparação à aplicação de fertilizantes químicos (na mesma taxa de TSP + KCl) na produção de cana-de-açúcar. Os pesquisadores concluíram que os biofertilizantes de rocha a partir de rochas naturais (RF como fonte de P e biotita como fonte de K) mais enxofre elementar inoculado com *acidithiobacillus* podem ser usados como alternativas para os fertilizantes à base de P e K na cana-de-açúcar cultivada em solos ácidos, com baixa disponibilidade de fósforo e potássio.

Para as culturas que requerem recursos de potássio de liberação lenta, como o óleo de palma, o abacaxi, o coco e a banana e, talvez, a cana-de-açúcar, o uso de rochas com alta concentração de silicatos de potássio, como a biotita e a flogopita (de rejeitos), pode ser uma fonte útil de liberação desse macronutriente, em especial quando técnicas de modificação microbiológicas são empregadas.

Glimmeritos altamente concentrados e outros tipos de rochas ricas em biotita ou flogopita, associados a rochas alcalinas devem ser investigados em relação ao seu potencial usando ácido e técnicas de modificação microbiana.

COMPOSTAGEM DOS SILICATOS DE POTÁSSIO

Um outro mecanismo de liberação de potássio em compostos foi descrito por Nishanth e Biswas (2008). Os pesquisadores estudaram a eficácia de compostagens enriquecidas, preparadas com talo de arroz, rochas fosfáticas locais (do Rajastão), rejeito de mica (muscovita) e, ainda, bioinoculante (*aspergillus awamori*) na produção e consumo de nutrientes pelo trigo. O efeito casa de vegetação foi conduzido em solos com baixa matéria orgânica, baixo fósforo e potássio moderado. O estudo em casa de vegetação foi conduzido com solos de baixo conteúdo de matéria orgânica e fósforo, porém com potássio moderado. A aplicação de compostos enriquecidos com bioinoculantes resultou em uma produção de biomassa, consumo e recuperação de fósforo e potássio disponíveis, significativamente maior do que os compostos preparados sem o bioinoculante. Os pesquisadores afirmam que o uso de compostos enriquecidos poderia reduzir a confiança nos fertilizantes químicos onerosos, especialmente o potássio.

OUTRAS REAÇÕES COM SILICATOS DE POTÁSSIO

Zhou e Huang (2008) estudaram que a cinética e os mecanismos do fosfato monoamônico (MAP) induziram a liberação de potássio de silicatos de potássio selecionados, especificamente a biotita, a muscovita e microclínio. Os resultados mostraram altas taxas de liberação desse nutriente, com base em biotita e baixas taxas de liberação de potássio da muscovita e microclínio. Eles atribuíram a taxa melhorada de liberação de potássio a partir da biotita, à complexação de ortofosfatos (a partir da solução $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) com Al, Fe e Mg nos minerais, com subsequente liberação de potássio. O efeito combinado dos íons e prótons de fosfato foi responsável pela alteração dos silicatos de potássio e o principal mecanismo para a liberação de potássio. Isto pode ter algum significado prático, já que uma alta concentração de fósforo próxima aos fertilizantes de fosfato pode induzir à liberação de potássio contido em silicatos de potássio, por exemplo, a biotita.

CARBONATOS DE CA E MG

As formas minerais mais comumente usadas das fontes de Ca e Mg para fins agrícolas são os carbonatos, como, por exemplo, calcários sedimentares (sendo a calcita o principal mineral de Ca) e as rochas dolomíticas (com a dolomita sendo o principal mineral de Ca e Mg). Outras formas naturais da ocorrência dos carbonatos de Ca e Mg incluem os carbonatos ígneos, os carbonatos metamórficos (mármore), marga, calcrete e magnesita.

A marga é uma calcita misturada com várias quantidades de argila e matéria orgânica. Sua coloração varia do tom esbranquiçado ao amarelo. É um material de grão fino encontrado, principalmente, em ambientes de pequeno lago de água doce ou em áreas pantanosas e lacustres, nas sucessões sedimentares.

As fontes de cálcio e magnésio são encontradas em muitos ambientes e apenas alguns poucos países apresentam escassez deles. Em muitos casos, porém, esses carbonatos estão localizados a alguma distância dos solos em que serão aplicados. Rochas contendo altas proporções desses minerais, por exemplo, serpentinitos, anfíbolitas, piroxenitos ou tufos vulcânicos, geralmente, são fontes alternativas de cálcio e magnésio. Um exemplo de outra fonte alternativa desses nutrientes são os tufos pozolânicos na Ruanda, que contêm um total de $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O}$ de 18 até 30%. Esses recursos de milhões de toneladas são atualmente considerados como fontes alternativas de cálcio e magnésio para o cultivo de alimentos. Uma lista dos minerais alternativos, como fontes de desses nutrientes mais enxofre, está relacionada na Tabela 6.

Tabela 6 - Formas minerais naturais de cálcio, magnésio e enxofre.

Mineral		CaO%	MgO%	S%
não silicatos				
Calcita	CaCO_3	56		
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	30,4	21,9	
Anidrita	CaSO_4	41,2		23,5
Gipsita	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	32,6		18,6
Apatita	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$	55,8		
Magnesita	MgCO_3		48	
Kieserita	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$		29	23
Sal de Epsom	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$		16	13
silicatos				
Diopsídio (clinopiroxênio diopsídio)		25,9	18,6	
Epídoto		23,2		
Anortita (plagioclásio rico em Ca)		20,1		
Hornblenda (anfíbólio)		14,9	13,0	
Tremolita (anfíbólio)		13,8	24,8	
Actinolita (anfíbola)		13,3	19,1	
Forsterita (olivina)			57,3	
Serpentina			36-44	
Enstatita (piroxênio rico em Mg)			40	
Clorita			20-36	
Talco			32	
Flogopita			29	
Vermiculita			20-24	

Minerais de enxofre

A concentração de enxofre nas rochas varia muito. As rochas ígneas, como as ultramáficas, contêm, em média, 2.850 mg S/kg, basaltos 520 mg S/kg e granitos 300-400 mg S/ kg. A maior parte do enxofre está contida em rochas sedimentares, como os folhelhos, que contêm até 2.400 mg de enxofre por kg da rocha. As três principais substâncias naturais sólidas portadoras desse elemento são: o próprio enxofre elementar (S^0), os sulfetos (S^{2-}) e os sulfatos (SO_4^{2-}). O enxofre elementar natural contém normalmente mais de 90% de S, os sulfetos, como a pirita, contêm 53% e os sulfatos, como a gipsita e a anidrita, contêm geralmente de 18 a 23% de S.

Nos sistemas agrícolas, o enxofre é suprido por adição de fases minerais naturais contendo o elemento no estado sólido, tais como enxofre elementar, gipsita ou pirita, ou por meio de formas modificadas, tais como fertilizantes manufaturados. Os fertilizantes que contêm enxofre incluem o sulfato de amônio $(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)$, os superfosfatos simples (SSP), os superfosfatos triplos (TSP) e a uréia revestida com enxofre (SCU).

Enquanto o uso do enxofre elementar está confinado, principalmente, à sua aplicação como fungicida e pesticida, a utilização da gipsita ou anidrita na agricultura tem a função de reduzir a toxicidade por alumínio nos solos ácidos e o encrostamento em solos alcalinos e salinos (Sumner, 1993; Wallace, 1994). A gipsita, um mineral portador de cálcio bastante solúvel, é usada, principalmente, no cultivo de amendoim e outras leguminosas que dependem de uma fonte estável de cálcio, facilmente acessível.

No Quênia, uma mistura de uréia e 30% de gipsita é usada como fertilizante de cobertura, sendo aplicada, principalmente, em culturas de milho e vegetais (P. Seward, com pess. 2009).

Além da gipsita que ocorre naturalmente, há também grandes quantidades de subprodutos denominados de gesso, obtidos a partir de vários processos. O fosfogesso é um subproduto resultante da produção de ácido fosfórico para os fertilizantes superfosfatados, do gesso formado durante a dessulfurização dos gases de combustão (FGD), da combustão de carvão portador de S e de minérios de sulfeto. Nos últimos anos, muitas das fontes do subproduto gesso se tornaram concorrentes no mercado de gipsita natural. Na agricultura, estas formas de gipsita natural são, geralmente, preferidas por causa de sua pureza e alta solubilidade (Keren e Shainberg, 1981).

Minerais portadores de micronutrientes

Normalmente, os micronutrientes são aplicados aos fertilizantes ou diretamente ao solo, em pequenas quantidades, ou aplicados na forma de pulverização foliar. As taxas de aplicação são específicas mas encontram-se apenas na razão kg/ha. Com exceção do boro, que é lavrado como borato, a maior parte dos micronutrientes usados na agricultura é derivada de subprodutos da lavra de minerais metálicos.

As alternativas para a maioria dos fertilizantes micronutrientes são a aplicação de rochas máficas, que contêm uma gama de micronutrientes, como, por exemplo, o basalto.

As argilas marinhas são portadoras comuns de boro. O uso de folhelhos pretos (que contêm uma gama de metais) deve ser feito somente após análise, já que esses também podem conter metais prejudiciais aos solos, como é o caso do chumbo.

Zeólitas

As zeólitas constituem um grupo de minerais aluminossilicatos hidratados, cristalinos com sítios de carga negativa em sua estrutura. As estruturas das zeólitas são abertas e preenchidas naturalmente com água e positivamente carregadas com íons para neutralidade elétrica. As zeólitas naturais são particularmente úteis na agricultura por causa de sua grande porosidade, alta capacidade de troca catiônica e seletividade para cátions NH_4^+ e K^+ , assim como a estabilidade física (Mumpton, 1984). Essas podem ser usadas como carreadoras de nutrientes (por exemplo, NH_4^+ e K^+) como um meio com íons nutrientes trocáveis livres. Algumas zeólitas naturais contêm quantidades consideráveis de K^+ trocável, que podem reforçar o crescimento de plantas em vasos.

Hershey *et al.* (1980) forneceram dados sobre o efeito de liberação lenta de potássio contido em zeólitas. Entretanto, o uso principal de zeólitas naturais na agricultura é para a troca, armazenamento e liberação lenta de amônia (NH_4^+). Demonstrou-se que a zeólita, com sua seletividade específica por NH_4^+ , pode captar esse cátion do esterco de currais, de compostos ou do NH_4^+ dos fertilizantes portadores de amônio e armazená-lo, temporariamente, nos espaços vazios internos, antes da liberação lenta (Mumpton; 1977 e 1999).

As zeólitas naturais são encontradas em mais de 50 países. Essas são extraídas na China (como aditivo para cimento), em Cuba (para a horticultura), no Japão (para controle de odores e como aditivo para solo de liberação lenta), na Coreia do Sul, Hungria, Grécia, Turquia, Austrália, Nova Zelândia e Estados Unidos (como aditivo para ração animal e substrato para solos em campos de golfe).

Rocha silicatada

Surge um novo paradigma de pensamento em relação ao manejo de nossos recursos mais vitais (água e solos), para a produção de alimentos. Uma sugestão seria fazer a melhor ligação entre os cultivos e as propriedades inerentes aos solos e que desenvolva práticas de manejo do solo que precisem de menos ou de outras fontes externas de nutrientes e água.

Fertilizantes multinutrientes de rocha silicatada oferecem, potencialmente, fontes de nutrientes geológicos de baixo custo para sistemas agrícolas de pouco uso de insumo. O uso de rochas silicatadas, localmente disponíveis para correção de solo, se tornou atrativo nos últimos anos para produtores agrícolas que tentam seguir práticas de correção do solo mais sustentáveis e para os produtores de países em desenvolvimento que não podem custear os fertilizantes químicos. Keller (1948) foi um dos primeiros cientistas, nas últimas décadas, a promover uma estratégia baseada nos processos geológicos naturais de longo prazo que liberem, lentamente, os nutrientes para os solos. A intenção dessa estratégia é a correção de solo “o mais parecido possível com os princípios seguidos pela natureza” (Keller, 1948).

As vantagens e desvantagens das aplicações de rocha silicatada são descritas por van Straaten (2006). Os avanços recentes sobre a compreensão dos processos de intemperismo geoquímico, da química dos exudatos de raízes, do ciclo de nutrientes e dos processos bioquímicos nos solos, levaram a um melhor entendimento da cinética de dissolução, ciclo de nutrientes e processos bioquímicos nas superfícies de raiz. Entretanto, a eficácia da aplicação de fertilizantes de rochas silicatadas aos solos e culturas anuais é normalmente em função da baixa solubilidade geral da maioria das rochas em uma forma não modificada. Alguns tipos de rochas, porém, se prestam à dissolução melhorada, especialmente aquelas que foram formadas sob regimes de alta temperatura e que são subsaturadas em sílica, por exemplo, as rochas vulcânicas como: os fonólitos, as rochas portadoras de nefelina e leucita, as rochas vulcânicas máficas, como os basaltos e os olivina-basaltos, vidro vulcânico e cinzas vulcânicas e rochas ultramáficas ultrapotássicas. Uma forma relativamente barata é utilizar esses materiais advindos dos “rejeitos” de outras indústrias, como, por exemplo, as partículas finas, que são atualmente descartadas das indústrias de construção usando basalto ou diabásio ou outros tipos de rocha máfica.

Uma das restrições do uso das rochas silicatadas nos solos está relacionada à necessidade de aplicação de grandes quantidades de rocha moída nos terrenos agrícolas (von Fragstein *et al.*, 1988; Harley e Gilkes, 2000). Entretanto, as rochas silicatadas já provaram ser úteis em alguns sistemas agrícolas e condições climáticas, em particular nas condições tropicais, sob regimes climáticos úmidos (Leonardos *et al.*, 1987, 2000; Harley e Gilkes, 2000; Theodoro e Leonardos, 2006). Porém, os minerais e as rochas de silicato vulcânicas não liberam apenas uma variedade de nutrientes e micronutrientes aos solos, por causa de seu pH alto (8-10), essas também podem ser utilizadas como rochas de calagem (von Fragstein *et al.*, 1988; Hildebrand, 1991; Fakengren-Gerup e Tyler, 1992).

O pH das rochas fonolíticas moídas atingem valores superiores a 10, basalto variando o pH de 8 a 10 e o dos granitos de 7 a 10 (von Fragstein *et al.*, 1988). Keller e Reesman (1963) e Keller *et al.* (1963) mostraram que o pH da polpa de rocha do glacial moreno era alcalino, com uma variação de 8,2 a 9,4. Esses materiais de rochas naturais devem, portanto, ser considerados como promissores materiais de calagem, com liberação lenta de nutrientes. Hildebrand e Schack-Kirchner (2000) demonstraram a eficácia de rocha basáltica moída em comparação com materiais de calagem em solos de floresta ácida. Para atingir boas taxas de liberação de nutrientes, 6 t/ha de finos de basalto foram aplicadas, fornecendo cálcio e potássio para a nutrição, em longo prazo, de árvores no norte da Floresta Negra, na Alemanha (Hildebrandt e Schack-Kirchner, 2000).

A aplicação de 10 t/ha de rocha fonolítica aumentou a concentração de cálcio em solos de floresta ácida e aumentou o seu pH. Porém, a alta taxa de aplicação de rocha fonolítica rica em sódio também resultou em altas taxas de liberação desse nutriente, o que pode, potencialmente, causar o seu aumento na água subterrânea e contribuir para a perda de estabilidade estrutural dos solos (von Wilpert e Lukes, 2003).

Os resultados dos testes com rochas silicáticas moídas aplicadas em solos, em condições de climas temperados e muito secos, mostrou, consistentemente, que as rochas graníticas e outros materiais de rochas ricas em sílica não são eficazes para atender as demandas de nutrientes da maior parte das culturas agrícolas. Por outro lado, o uso de rochas silicáticas vulcânicas moídas possui liberação potencial de nutrientes para os solos e para efeitos de calagem, especificamente para culturas de longo prazo, árvores e restauração da paisagem.

Consistentemente, experimentos com rochas silicáticas máficas moídas, como os basaltos, demonstram taxas de dissolução maiores e uma melhor eficácia em climas tropicais do que em climas temperados (d'Hotman de Villiers, 1961; Leonardos *et al.*, 1987 e 1991; Gillman, 1980, e Gillman *et al.*, 2000 e 2002; Theodoro e Leonardos, 2006). Os regimes de temperaturas altas e umidade maior ainda aumentam as reações entre os minerais e a solução do solo. Os solos tropicais são geralmente ácidos e com baixas concentrações de nutrientes resultantes de intenso intemperismo e lixiviação. Esses solos são, portanto, mais receptivos à adição de materiais de calagem e reabastecimento de nutrientes por meio da aplicação de rochas silicáticas máficas do que em condições de clima temperado.

Entretanto, a fim de reforçar a dissolução de minerais e rochas, várias técnicas de modificação de baixo custo estão sendo testadas atualmente. Muitos desses processos, por exemplo, a ativação mecânica (Priyono e Gilkes, 2004; Priyono, 2005) e o uso de processos microbiológicos são semelhantes aos aplicados aos silicatos potássicos. Técnicas potenciais de modificação da rocha total estão listadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Processos de modificação da rocha total.

Tipo de modificação	Método
Modificação física	Ativação mecânica
Modificação físico-química	Processo térmico
Modificação química	Acidulação com ácidos sulfúricos e orgânicos
Modificação biológica	Compostagem
	Biossolubilização com micro-organismos

A utilização de rochas silicáticas totais na Europa

Atualmente, o mercado para a aplicação de rochas silicáticas multinutrientes é pequeno na Europa Central, como, por exemplo, na Alemanha, Áustria e Suíça, no Reino Unido, na Holanda e Escandinávia. Uma pesquisa recente sobre as empresas que vendem rochas silicáticas totais (*whole rocks*) incluem, principalmente, as empresas que produzem diabásio e basalto para utilização na construção civil. Para essas empresas, o “rejeito” moído de suas operações é vendido como corretivo para pastagem, florestas, pomares, para o cultivo de plantas medicinais e para aditivos em compostagens. Esses grãos moídos finos também são vendidos para utilização em tanques de esterco líquido. Afirmar-se que a elevada área de superfície dos materiais acelera a aeração no esterco líquido, reduz os odores de amônia e enriquece os esterco com nutrientes. Algumas das empresas afirmam que a produção de biogás é reforçada devido à aceleração do processo de biodegradação. Outras empresas promovem os produtos de basalto como sendo úteis por causa de seu “reforço da fertilidade do solo, riqueza de nutrientes especialmente magnésio, propriedades de estímulo de crescimento, melhoria na qualidade de frutas e vegetais, e como materiais que reduzem os odores em estábulos e tanques de esterco líquido”.

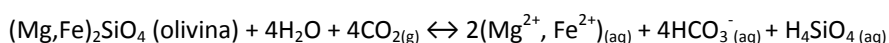
As taxas de aplicação recomendadas para os tanques de esterco líquido são: 10 kg/m³ de esterco líquido e 0,5 kg por animal por dia no estábulo e 2 a 3 kg/10 t de esterco de curral. Na Suíça, rochas e minerais alternativos utilizados como corretivos são listados pelo Instituto de Pesquisa para a Agricultura Biológica para as fazendas bio-suíças e incluem materiais como: rochas fosfáticas, dolomitas, calcários de margas, kieseritas, sulfatos de K-Mg, enxofre, bentonitas, rochas de ração (*stonemeal*) e zeólitas. A venda desses materiais basálticos é obviamente direcionada para um mercado específico, com vendas pequenas (de até centenas de t/ano) para as comunidades de fazendas ecológicas na Alemanha, Áustria, Suíça e Escandinávia.

A aplicação de rocha total para o sequestro de carbono

O AUMENTO DO SEQUESTRO DE CARBONO POR MEIO DE UMA COMBINAÇÃO DE ROCHAS MOÍDAS INTEMPERIZADAS E O PLANTIO DE CULTURAS E ÁRVORES

A lavra, britagem e moagem, assim como o processamento e transporte de rochas e seus produtos, requerem o uso de energia e produzem CO₂. Por outro lado, o cultivo de culturas e árvores absorve CO₂. Obviamente, quanto maior a produção de culturas e árvores, maior será a absorção de CO₂. O objetivo do uso da “rochagem” é retirar uma quantidade maior de CO₂ da atmosfera do que aquela que é produzida pela lavra, britagem e transporte de rochas e minerais. O uso de rejeitos de rochas (*wastes rocks*) já lavradas e moídas, como, por exemplo, as rochas máficas da indústria de construção de estradas ou de outras indústrias da mineração de minerais industriais, tornou-se adequado para alcançar esse objetivo.

A utilização de silicatos de cálcio e magnésio moídos, por exemplo, basaltos ou dunitos portadores de olivina, pode aumentar o sequestro de carbono por meio de intemperismo forçado desses silicatos, por exemplo, olivina (Schuiling e Krijgsman, 2006; Chen et al., 2006; Hangx e Spiers, 2009). A princípio, o intemperismo dos minerais citados, em condições ambientais, abrange uma reação que remove o CO₂ da atmosfera por meio da neutralização ácida carbônica, de acordo com a seguinte reação (Schuiling e Krijgsman, 2006; Hangx e Spiers, 2009):



Schuiling e Krijgsman (2006), Hangx e Spiers (2009) calcularam que a incorporação de rochas máficas moídas, por exemplo, rochas ricas em olivina, em solos ácidos, pode ter efeitos positivos e substituir a calagem. Em ambientes tropicais com temperaturas elevadas e solos ácidos, um maior sequestro de carbono é previsto durante essa reação (Hangx e Spiers, 2009). Estes últimos pesquisadores afirmam que as taxas de reação para a olivina, espalhada em solos nos trópicos, poderia ser de até 200 a 600 vezes mais rápida do que em ambientes temperados.

O sequestro de carbono pode ser aumentado ainda mais, quando a técnica do uso de rochas moídas e de minerais, para o sequestro de carbono por meio de intemperismo, é combinada com o reforço de nutrientes no plantio de culturas e árvores. A previsão é de que a combinação do intemperismo mineral dos silicatos de cálcio e magnésio com o cultivo forçado de plantas fará com que mais CO₂ seja sequestrado do que em cada etapa isolada. Uma forma possível de forçar a reação de intemperismo da olivina, piroxênio ou rochas vulcânicas máficas, como o basalto ou silicatos ricos em magnésio, é por meio do uso de plantas que contêm uma alta necessidade de cálcio e magnésio, especialmente, as culturas de leguminosas. Com a utilização dessas plantas, Mg, Fe e Ca são retirados da reação (lei da ação das massas) fazendo com que a quebra dessas rochas e minerais seja forçada e ao mesmo tempo force o crescimento e futuro sequestro de CO₂.

É claro que estudos mais amplos sobre o intemperismo e o cultivo de plantas precisam ser conduzidos a fim de medir a quantidade de CO₂ sequestrado pelas taxas de intemperismo acelerada e pelo consumo de CO₂ pelas plantas. É crucial quantificar o balanço de CO₂ usando dados de entrada de energia das atividades, tais como a britagem e o transporte de rochas e minerais, assim como o ganho de energia e captura de CO₂.

Conclusões e previsões

A atual crise econômica somada ao aumento nos preços dos fertilizantes e aos desafios ambientais exigem um conjunto de abordagens novas. Uma delas inclui o uso de rochas e minerais alternativos, ricos em nutrientes, na produção de alimentos, ração animal e biocombustível.

Rochas e minerais alternativos ricos em nutrientes são aqueles que não sofrem reações com substâncias químicas industriais nem modificações para formar fertilizantes químicos. Esses minerais e rochas incluem as rochas fosfáticas, silicatos potássicos, várias rochas portadoras de cálcio, magnésio e enxofre e fertilizantes de silicatos de rocha total (*whole rock*). Na forma não processada, esses minerais e rochas liberam nutrientes lentamente.

A aplicação direta ao solo de rochas e minerais moídos, ricos em nutrientes, é mais apropriada nas plantas com crescimento lento, tais como as árvores frutíferas perenes, nos produtos florestais e na maior parte dos plantios de biocombustíveis. Entretanto, pequenos produtores também relataram bons resultados com o uso de rocha combinada com outros nutrientes mais solúveis.

A utilização de pequenas embalagens de recursos multinutrientes contribuiu para o aumento da segurança alimentar em diversos países. Os processos microbiológicos exercem um papel de fundamental importância nesses resultados, já que, por meio deles, os nutrientes são liberados de rochas e minerais alternativos diferentemente menos solúveis. A moagem fina preconiza os processos de modificação associados à necessidade de esforços para aumentar as áreas de superfície desses minerais e rochas diferentemente não-reativos.

Atualmente, há esforços no sentido de modificar rochas e minerais ricos em nutrientes, com o uso de recursos disponíveis no local, micro-organismos e ácidos orgânicos produzidos por micro-organismos para o aumento da liberação de nutrientes, em várias partes do mundo, principalmente, nos países afetados por elevações íngremes e o alto custo dos fertilizantes convencionais. Há pesquisas em andamento para identificar os tipos de rochas mais apropriados e disponíveis no local e os meios de modificação, para desenvolver métodos que aumentem a produção de alimentos, de ração animal e de biocombustíveis.

A maior parte das técnicas de modificação foram até agora direcionadas às rochas fosfáticas, porque o fósforo, junto com o N, é um elemento limitador de nutrientes, crucial para o desenvolvimento da maioria das culturas. Mais e mais esforços estão a caminho na busca por fertilizantes alternativos à base de potássio, já que este está cada vez mais caro.

As tentativas para transformar as futuras culturas de alimentos, ração animal e biocombustíveis exigem abordagens mais ecológicas e econômicas. Grupos internacionais de pesquisa fornecem exemplos sobre o uso de materiais alternativos e de processos alternativos de modificação.

A efetividade de rocha aplicada no desempenho dos cultivos não depende apenas das características químicas e mineralógicas dos minerais e rochas (o fator rocha), mas depende também das propriedades químicas e físicas dos solos (o fator solo) e das exigências/necessidades de nutrientes dos plantios (o fator plantio).

O futuro repousa no delineamento e no uso ambiental e economicamente correto dos recursos alternativos de minerais e rochas adaptados às exigências dos solos e das culturas. As produções anuais para a alimentação humana e de ração animal, assim como as culturas perenes de alimentos (como os cultivos de frutas, por exemplo) precisam de toda nossa atenção para aumentar a segurança alimentar e serem sucedidas por culturas perenes para a produção de biocombustíveis. Mais esforços devem ser direcionados para o uso de rochas alternativas para o sequestro de carbono, a fim de reduzir os efeitos negativos das emissões de carbono que causam as alterações climáticas. Os recursos minerais são finitos, portanto, o seu uso deve se dar de forma inteligente e sustentável.

Glossário

Compostagem – Mistura em fermentação de certos restos ou dejetos agrícolas ou urbanos, de maneira a recuperar os elementos ricos em minerais e matéria orgânica, que em seguida são incorporados às terras agrícolas como fertilizante agrícola.

Exudato – Bot. Líquido expedido, natural ou acidentalmente, um vegetal, em forma de gotas.

Marga – Rocha sedimentar de textura muito fina, friável, constituída de uma mistura de argila e calcário (entre 35 e 65%). A rocha é utilizada como nutriente agrícola, dada a presença, entre seus componentes fertilizantes, principalmente, de cal e potássio.

Micoriziza - Associação simbiótica entre o micélio de certos fungos e as raízes de certas espermatófitas, a qual envolve troca de nutrientes entre as duas espécies

Mucuna – Designação comum às plantas do gênero mucuna, também conhecidas como mucunã e mucuná. Nativas de regiões tropicais, algumas são cultivadas como ornamentais, outras como forrageiras, poucas como medicinais.

Rizóbio – Gênero de bactérias fixadoras do nitrogênio atmosférico, que vivem em simbiose nas raízes das leguminosas, formando nodosidades e permutando as proteínas pelos glicídios elaborados pela planta verde.

Referências bibliográficas

- Adnan A, Koch FA and Mavricic DS (2003). Pilot-scale study of phosphorus recovery through struvite crystallization—examining the process feasibility. *J. Envir. Engin. Sci.* 2:315-324.
- Aitta E, Leskelä M, Lajunen LHJ, Jyrkäs K, and Seppälä E, (1986). Thermal treatment of phlogopite and muscovite with calcium and magnesium compounds. *J. Chem. Techn. and Biotech.* 36:169-177.
- Altieri MA (2009). The ecological impacts of large-scale agrofuel monoculture production systems in the Americas. *Bull. Sci. Techn. Soc.* 29:236-244.
- Bakken AK, Gautneb H, Sveistrup T and Myhr K (2000). Crushed rocks and mine tailings applied as K fertilizers on grassland. *Nutr. Cycl. Agroecos.* 56:53-57.
- Bakken AK, Gautneb H, and Myhr K (1997). The potential of crushed rocks and mine tailings as slow-releasing K fertilizers assessed by intensive cropping of Italian ryegrass in different soil types. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 47:41-48.
- Basak BB and Biswas DR (2009). Influence of potassium solubilizing microorganisms (*Bacillus mucilaginosus*) and waste mica on potassium uptake by sudan grass (*Sorghum vulgare Pers.*) grown under two Alfisols. *Plant Soil* 317:235-255.
- Battistoni P, Fava G, Pavan P, Musacco A and Cecechi F (1997). Phosphate removal in anaerobic liquors by struvite crystallization without adding of chemicals: Preliminary results. *Water Research* 31:2925-2929.
- Berthelin J, Leyval C, Laheurte F and de Giudici P (1991). Involvement of roots and rhizosphere microflora in the chemical weathering of soil minerals. In: Atkinson D ed. *Plant root growth - An ecological perspective.* British Ecol. Soc., Blackwell Sci Publ. pp. 187-200.
- Bigham JM, Bhatti TM, Vuorinen A, and Tuovinen OH (2001). Dissolution and structural alteration of phlogopite mediated by proton attack and bacterial oxidation of ferrous iron. *Hydrometallurgy* 59:301-309.
- Blum JD, Klaue A, Nezat CA, Driscoll CT, Johnson CE, Siccama TG, Eagars C, Fahey TJ and Likens GE (2002). Mycorrhizal weathering of apatite as an important calcium source in base-poor forest ecosystems. *Nature* 417:729-731.

- Bonzi M., Lompo F, Ouandaogo N and Sedogo MP (2007). Promoting uses of indigenous phosphate rock for soil fertility recapitalization in the Sahel: State of the knowledge on the survey of the rock phosphates of Burkina Faso. *Innovations as Key to the Green Revolution in Africa: Exploring the Scientific Facts*. Arusha, Tanzania, 17-21 Sept 2007.
- Boyle JR., Voight GK and Sawhney BL (1974). Chemical weathering of biotite by organic acids. *Soil Science* 117:42-45.
- Chen ZY O'Connor WK, and Gerdemann SJ (2006). Chemistry of aqueous mineral carbonation for carbon sequestration and explanation of experimental results. *Environ Progr* 25:161-165.
- Condie K.C. (1989). *Plate Tectonics and Crustal Evolution*. Pergamon Press, New York.
- Cordell D., Drangert J.O., White S (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environ Change* 19:292-305.
- Daniel M J. and Morrell, S. (2004). HPGR model verification and scale-up. *Minerals Engineering* 17:1149-1161.
- Déry P. and Anderson B. (2007). Peak phosphorus. *Energy Bulletin*, 08/13/2007. www.energybulletin.net/node/33164
- D'Hotman de Villiers (1961). Soil rejuvenation with crushed basalt in Mauritius. *Int. Sugar J.* 63:363-364.
- Dhliwayo D. (1999). Evaluation of the agronomic potential and effectiveness of Zimbabwe (Dorowa) phosphate rock – based on phosphate fertilizer materials. PhD thesis, University of Zimbabwe, 248p.
- Dooley J.H. (2006). Glauconite. In: Carr DD (Editor) *Industrial minerals and rocks*, 6th edition. Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc., Littleton, Col, USA, pp.495-506.
- Fakengren-Gerup U. and Tyler G. (1992). Changes since 1950 of mineral pools in the upper C-horizon of Swedish deciduous forest soils. *Water Air Soil Poll* 64:495-501.
- Forrest AL, Fattah KP, Mavinic DS and Koch FA (2008). Optimizing struvite production for phosphate recovery in WWTP. *J Environm Engin* May 2008: 395-402.
- Fyfe W.S, Leonardos OH, and Theodoro SH (2006). Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. *An Acad Bras Cienc* 78:715-720.
- Gilbert N. (2009). Phosphorus - The disappearing nutrient. *Nature* 461:716-718.
- Gillman G.P. (1980). The effect of crushed basalt scoria on the cation exchange properties of a highly weathered soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:465-468.
- Gillman G.P., Burkett DC and Coventry RJ (2002). Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock. *Appl. Geochem.* 17:987-1001.
- Gillman G.P., Burkett DC and Coventry RJ (2000). A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: effects ion soil cation chemistry. *Aust. J. Soil Res.*39:799-811.
- Goldschmidt VM (1954). *Geochemistry*. Oxford University Press, UK, 730p.
- Gupta A.K, and Fyfe WS (2003). *The young potassic rocks*. Ane Books, New Delhi, India, 370p.
- Hammond L.L., Chien SH and Mokwunye AU (1986). Agronomic evaluation of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. *Adv. Agron.* 40:89-140.
- Hammond L.L., Chien SH, Roy AH and Mokwunye AU (1989). Solubility and agronomic effectiveness of partially acidulated phosphate rocks as influenced by their iron and aluminum oxide content. *Fert. Res.* 19:93-98.
- Hangx SJT and Spiers CJ (2009). Coastal spreading of olivine to control atmospheric CO₂ concentrations: a critical analysis of viability. *Intern J Greenhouse Gas Contr* (in press).

- Harley AD and Gilkes RJ (2000). Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 56:11-36.
- Heinrich EW (1980). *The geology of carbonatites*. Krieger Publ Co, Huntington, New York, 585p.
- Hensel J (1890). *Das Leben*. (in German) Verlag Boericke und Tafel, Leipzig, Germany.
- Hensel J (1894). *Bread from stones*. AJ Tafel (editor) Philadelphia, USA.
- Hershey DR, Paul JL and Carlson RM (1980). Evaluation of potassium-enriched clinoptilolite as a potassium source for potting media. *Hortscience* 15:87-89.
- Hildebrand EE (1991). The spatial heterogeneity of chemical properties in acid forest soils and its importance for tree nutrition. *Water Air Soil Poll* 54:183-191.
- Hildebrand EE and Schack-Kirchner H (2000). Initial effects of lime and rock powder application on soil nutrient chemistry in a dystic Cambisol – results of model experiments. *Nutr Cycl Agroecosyst* 56:69-78.
- Hinsinger P (1998). How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. *Adv. Agr.* 64:225-265.
- Hinsinger P, Elsass F, Jaillard B and Robert M (1993). Root-induced irreversible transformation of a trioctahedral mica in the rhizosphere of rape. *J. Soil Sci.* 44:535-545.
- Karanja NK, Mwendwa KA, Okalebo JR, and Zapata F (2001). Effects of phosphate rock fertilization and arbuscular mycorrhizae inoculation on the growth of agroforestry tree seedlings. In: Rajan SSS and Chien SH (eds.) *Direct application of phosphate rock and related appropriate technology – latest developments and practical experiences: Proceedings of an international meeting, IFDC, Muscle Shoals, Alabama USA, Special Publications IFDC-SP-37:353-366*.
- Keller WD (1948). Native rocks and minerals as fertilizers. *Sci. Monthly* 66:122-130.
- Keller WD, Balgord WD and Reesman AL (1963). Dissolved products of artificially pulverized silicate minerals and rocks. *J. Sediment. Petrol.* 33:191-204.
- Keller WD and Reesman AL (1963). Glacial milks and their laboratory-simulated counterparts. *Geol. Soc. Am. Bull.* 74:61-76.
- Keren R and Shainberg I (1981). Effects of dissolution rate on the efficiency of industrial and mined gypsum in improving infiltration of a sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:103-107.
- Kongshaug G (1998). Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production. *Proc. IFA Techn Conf. Marrakesh, Morocco. IFA, Paris*, pp. 272-289.
- Krasnova N (2001). The Kovdor phlogopite deposit, Kola Peninsula, Russia. *Can Min* 39:33-44.
- Le Bas MJ, Le Maitre RW, Streckeisen A, and Zanetti B (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali – silica diagram. *J Petrol* 27:745-750.
- Leonardos OH, Fyfe WS and Kronberg BI (1987). The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers. *Chem. Geol.* 60:361-370.
- Leonardos OH, Theodoro SH and Assad ML (2000). Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 56:3-9.
- Lian B, Wang B, Pan M, Liu C and Teng HH (2008) Microbial release of potassium from K-bearing minerals by thermophilic fungus *Aspergillus fumigatus*. *Geochim. Cosmochim. Acta* 72:87-98.
- Lim HH, Gilkes RJ and McCormick P (2003). Beneficiation of rock phosphate fertilizers by mechano-milling. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 67:177-186.

- Manning DAC (2009). Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. *Agron Sustain Dev* DOI: 10.1051/agro/2009023
- Markewicz FJ and Lodding W (1983). Glauconite. In: Lefond SJ (editor) *Industrial Minerals and Rocks*, 4th edition. AIME, New York, pp. 679-690.
- Mitchell RH and Bergman SC (1991). *Petrology of lamproites*. Plenum Press, New York, 447p.
- Morel SW (1988). Malawi glimmerites. *J Afr Earth Sci* 7:987-997.
- Muleba N and Coulibaly M (1999). Effects of phosphorus fertilizer sources on cowpea and subsequent cereal productivity in semi-arid West Africa. *J Agric Sci* 132:45-60.
- Mumpton FA (1999). La roca magica: Use of natural zeolites in agriculture and industry. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 96:3463-3470.
- Mumpton FA (1984). *Flammae et fumus proximi sunt: The role of zeolites in agriculture and aquaculture*. In: Pond WG and Mumpton FA (eds.) *Zeo-agriculture: Use of natural zeolites in agriculture and aquaculture*. Westview Press, Boulder, Colorado, USA, pp. 3-27.
- Munsanje K (2007). Directly applied Chilembwe phosphate rock for enhanced leaf concentration in *Tithonia diversifolia*. Unpubl. MSc. thesis, University of Guelph, 194p.
- Naiming Z, Bolong W and Lixia M (2009). Conditions and problems of phosphate resource utilization. In: van Straaten P and Oram N (eds.) *Proceedings of the Second International Rocks for Crops Conference*, Nairobi and Kisumu, Kenya, July 15-20, 2007. University of Guelph, Guelph, Canada, pp.133-144.
- Nascimento M (2004). Desenvolvimento de método para extração de potássio a partir de feldspato potássico. Ph.D. thesis, Univ. Fed. Rio de Janeiro, Brazil, 113 p.
- Nishanth B and Biswas DR (2008). Kinetics of phosphorus and potassium release from rock phosphate and waste mica enriched compost and their effect on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum*). *Biores Techn* 99:3342-3353.
- Pimentel D (2003). Ethanol-fuels: energy balance, economics and environmental impacts are negative. *Natural Resources Research* 12:127-134.
- Priyono J (2005). Effects of high energy milling on the performance of silicate rock fertilizers. Ph.D. Thesis, The University of Western Australia.
- Priyono J and Gilkes RJ (2004). Dissolution of milled-silicate rock fertilisers in the soil. *Austr. J. Soil Res.* 42:441-448.
- Richardson AE (2001). Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Aust. J. Plant Physiol.* 28:897-906.
- Royal Dutch Shell (2008). Shell energy scenarios 2050. Shell International BV. www.shell.com/scenarios
- Rossi G (1978). Potassium recovery through leucite bioleaching: possibilities and limitations. In: Murr LE, Torma AE and Brierley JA (eds.) *Metallurgical applications of bacterial leaching and related microbiological phenomena*. Acad Press New York, pp. 297-319.
- Ruto EC, Okalebo JR, Othieno CD, Kipsat MJ, and Bationo A, (2009). Effectiveness of "Prep-Pac" soil fertility replenishment product on nutrient uptake and yields of diversified maize-legume intercrops in a Ferralsol of Western Kenya. In: van Straaten P and N Oram (editors) *Proceedings of the Second International Rocks for Crops Conference*, Nairobi and Kisumu, Kenya, July 15-20, 2007, University of Guelph, Guelph, Canada, pp 46-63.
- Sampson R, Lem, CH Stamler SB, and Dooper J (2008). Developing energy crops for thermal applications: Optimizing fuel quality, energy security and GMG mitigation. In: Pimentel D (editor) *Biofuels, solar and wind energy systems*. Springer-Science, pp 397-425.

- Sanchez (2002). Soil fertility and hunger in Africa. *Science* 295:2019-2020.
- Sanchez PA, Shepherd KD, Soule MJ, Place FM, Buresh RJ and Izac NA (1997). Soil fertility replenishment in Africa: an investment in natural resource capital. In: Buresh RJ, Sanchez PA and Calhoun F (eds.) Replenishing soil fertility in Africa. *SSSA Special Publ.* 51:1-46.
- Schneider KD, van Straaten P, Orduna RM, Glasauer S, Trevors J, Fallow D and Smith PS (2009). Comparing phosphorus mobilization strategies using *Aspergillus niger* for the mineral dissolution of three phosphate rocks. *J. Appl. Microbiol.* Jul 13.
- Schuilung RD and Anrade A (1999). Recovery of struvite from calf manure. *Environm Techn* 20:765-768.
- Schuilung RD and Krijgsman J (2006). Enhanced weathering: an effective and cheap tool to sequester CO₂. *Climate change* 74: 349-354.
- Seward P., (2009). Methods to make 'rocks' more accessible to small-holder farmers: Experiences of FIPS-Africa in Kenya. In: van Straaten P and Oram N (editors) *Proceedings of the Second International Rocks for Crops Conference, Nairobi and Kisumu, Kenya, July 15-20, 2007.* University of Guelph, Guelph, Canada, pp. 323-330.
- Sharma SN, Prasad R, Shivay YS, Dwivedi MK, Kumar S, Davari MR, Tram M, and Kumar D (2009). Relative efficiency of diammonium phosphate and Mussoorie rock phosphate on productivity and phosphorus balance in a rice-rapeseed-mungbean cropping system. *Nutr Cycl Agroecosyst* DOI10.1007/s10705-0099284-2
- Sheng XF, and He LY (2006). Solubilization of potassium-bearing minerals by a wildtype strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. *Canadian J Microbiol* 52:66-72.
- Smaling EMA, Roscoe R, Lesschen JP, Bouman AF and Comunello E (2008). From forest to waste: Assessment of the Brazilian soybean chain, using nitrogen as marker. *Agric Ecosyst Environ* 128:185-197.
- Song SK and Huang PM (1988). Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:383-390.
- Smyth TJ and Sanchez PA (1982). Phosphate rock dissolution and availability in Cerrado soils as affected by sorption capacity. *Soil Sci Soc Am J* 46:339-345.
- Stamford NP, Lima RA, Santos CRS and Dias SHL (2006). Rock biofertilizers with *Acidithiobacillus* on sugarcane yield and uptake in a Brazilian soil. *Geomicrobiol J* 23:261-265.
- Sumner M (1993). Gypsum and acid soils: The World scene. *Advances in Agronomy* 51:1-32.
- Swaby RJ (1975). Biosuper-biological superphosphate. In: McLachlan KD (editor) *Sulphur in Australasian agriculture.* Sydney University Press, Sydney, Australia, pp. 213-220.
- Tagwira F (2001). Potential of Dorowa Phosphate Rock as a low cost fertilizer for smallholder farmers in Zimbabwe. In: Rajan SSS and Chien SH (eds.) *Direct application of phosphate rock and related appropriate technology – latest developments and practical experiences: Proc intern meeting, IFDC, Muscle Shoals, AL USA, Spec Publ IFDC-SP-37:397-406.*
- Theodoro SH and Leonardos OH (2006). The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 78:721-730.
- Vaccari DA (2009). Phosphorus: a looming crisis. *Scientific American* June 2009, 54-59.
- Van Kauwenbergh SJ (1995). Mineralogy and characterization of phosphate rock. In: Dahanayake K, Van Kauwenbergh SJ Hellums DT (eds.) *Application of phosphate rock and appropriate technology fertilizers in Asia – What hinders acceptance and growth.* Proceed. Int. workshop Institute of Fundamental Studies, Kandy, Sri Lanka, pp29-47.

- Vanlauwe B, Diels J, Sanginga N, Carsky RJ, Deckers J, and Merckx R (2000). Utilization of rock phosphate on a representative toposequence in the Northern Guinea savanana zone of Nigeria: response by maize to previous herbaceous cropping and rock phosphate treatment. *Soil Biol Biochem* 32:2079-2090.
- van Straaten P (2007). *Agrogeology – the use of rocks for crops*. Enviroquest, Cambridge, Canada, 440p.
- van Straaten P (2006). Farming with rocks and minerals: Challenges and opportunities. *Ann. Acad. Bras. Ciênc.* 78:731-747.
- van Straaten P (2002). *Rocks for crops: Agrominerals of sub-Saharan Africa*. ICRAF, Nairobi, Kenya, 338p.
- van Straaten P and N Oram (editors, 2009). *Proceedings of the Second International Rocks for Crops Conference, Nairobi and Kisumu, Kenya, July 15-20, 2007*. University of Guelph, Guelph, Canada, 344p.
- van Straaten P and Fernandes TRC (1995): *Agrogeology in Eastern and Southern Africa: a survey with particular reference to developments in phosphate utilization in Zimbabwe*. In: Blenkinsop TG and Tromp PL (eds.) *Sub-Saharan Economic Geology*. Geol. Soc. Zimbabwe Spec. Publ. 3, Balkema Publishers, Netherlands, pp. 103-118.
- von Fragstein P, Pertl W and Vogtmann H (1988). Verwitterungsverhalten silikatischer Gesteinsmehle unter Laborbedingungen (in German). *Z. Pflanzenern Bodenk* 151:141-146.
- von Wippert K and Lukes M (2003). Ecochemical effects of phonolite rock powder, dolomite and potassium sulfate in a spruce stand on an acidified glacial loam. *Nutr Cycl Agroecosyst* 65:115-127.
- Wallace A (1994). Use of gypsum on soil where needed can make agriculture more sustainable. *Commun. Soil Sci. Plant Anal* 25:109-116.
- Wallander H (2000). Uptake of P from apatite by *Pinus sylvestris* seedlings colonised by different ectomycorrhizal fungi. *Plant Soil* 218:249-256.
- Weerasuriya TJ, Pushpakumara and Cooray PI (1993). Acidulated pegmatitic mica: A promising new multi-nutrient mineral fertilizer. *Fert. Res.* 34:67-77.
- Woomer PL, Okalebo JR, Maritim HK, Obura PA, Mwaura FM, Nekesa P, and Mukhwana EJ (2003). PREPAC: a nutrient replenishment product designed for smallholders in western Kenya. *Agric Ecos Env*, 100 (2-3): 295-303.
- Yusdar H and Hanafi M (2001). Use of phosphate rock for perennial and annual crops cultivation in Malaysia: A review. In: Rajan SSS and Chien SH (eds.) *Direct application of phosphate rock and related appropriate technology – latest developments and practical experiences: Proceedings of an international meeting, IFDC, Muscle Shoals, Alabama USA, Special Publications IFDC-SP-37:78-91*.
- Zhou JM and Huang PM (2008). Kinetics and mechanisms of monoammonium phosphate-induced potassium release from selected potassium-bearing minerals. *Can. J. Soil Sci*, 799-811.
- Zin ZZ, Khalid HA, Tarmizi M, and Hamdan AB (2001). Use of phosphate rock fertilizers for oil palm in Malaysia. In: Rajan SSS and Chien SH (eds.) *Direct application of phosphate rock and related appropriate technology – latest developments and practical experiences: Proceedings of an international meeting, IFDC, Muscle Shoals, Alabama USA, Special Publications IFDC-SP-37:92-99*.

BIOCOMBUSTÍVEIS NOS ESTADOS UNIDOS EM CONTEXTO DE MUDANÇA

JOAQUIM RAMOS SILVA¹

Introdução

A primeira década do século XXI pôs claramente em causa o modelo energético que vinha a ser seguido desde o primeiro choque petrolífero (1973). Com efeito, até ao limiar dos anos 1970, dado o seu baixo custo relativo, que aliás, ao contrário de outras *commodities*, se tinha mantido constante a partir de 1950 (Radetzki, 2008: 67), o petróleo foi crescentemente relegando para um lugar secundário as outras fontes tradicionais de energia (carvão, origem hídrica, etc.), e a sua posição dominante neste mercado reforçou-se pelos interditos e incertezas envolvendo em particular o recurso ao nuclear. Posteriormente, os períodos alternados de alto e baixo preço do petróleo não ajudaram à definição de uma nova política energética (que levasse ao aumento e diversidade de produtos alternativos e a questionar a predominância do petróleo), mais ainda se considerarmos os custos elevados deste processo de ajustamento e os interesses estabelecidos (peso da indústria automóvel e suas ramificações noutros sectores, por exemplo). Não obstante a poupança de energia que entretanto foi possível obter em muitos casos, os ténues programas de incentivo à substituição esboçados por alguns governos nos vários períodos de alta (do petróleo) eram rapidamente esquecidos quando a situação se invertia. Apesar da importância determinante da energia no processo económico, nomeadamente numa lógica de preço, na perspectiva estratégica, as entidades políticas mostravam-se no entanto mais propensas, de uma forma geral, a assumir outro tipo de objectivos como as políticas de competitividade, reformas estruturais envolvendo os aparelhos produtivos, etc., deixando o sector energético sem alterações palpáveis. Por outro lado, mesmo as preocupações crescentes em torno da mudança climática, no essencial, ligada ao modelo energético seguido, revelaram-se incapazes de dar sinais seguros de acabar com esta inércia, ou até mesmo de vir a fazê-lo no curto médio/prazo, tal como ficou aliás demonstrado nas diversas cimeiras que se realizaram desde o começo da década de noventa, do Rio (1992) a Copenhaga (2009) passando por Quioto (1997) e Joanesburgo (2002).

Todavia, na primeira década de 2000, vai emergir finalmente um novo contexto e a atitude política que prevaleceu nas décadas precedentes, caracterizada pela inacção estratégica, tornou-se cada vez mais insustentável. Com efeito, como se pode observar na Figura 1, entre outros factores, a crescente integração da China e da Índia na economia mundial fez fortemente aumentar de forma continuada a procura de petróleo com repercussões significativas sobre o preço, que atingiu máximos históricos em 2008 (quando o preço do barril ascendeu a 147 USD em Julho). Embora a generalidade dos especialistas (e.g., Adams, 2009) que têm analisado o mercado mundial do petróleo considere que a evolução do seu preço vai manter o carácter cíclico que lhe conhecemos, a tendência predominante nos anos 2000 para se situar a níveis historicamente elevados, não é de molde a reverter-se facilmente,² ou pelo menos de voltar a curto prazo aos baixos níveis da maior parte dos anos 90. Analisando as vagas de crescimento de preços das *commodities* no pós-guerra, um pesquisador na área há várias décadas, previu que o *boom* dos anos 2000 seria “muito mais durável que os seus predecessores” (Radetzki, 2008: 72) e, no que respeita ao petróleo, mesmo a baixa que se verificou a partir do 3º trimestre de 2008, acompanhando o deflagrar da fase mais aguda da crise internacional, não o desmentiu, pois o processo foi parado no ano seguinte e até se verificou alguma recuperação do seu preço (cf. Figura 2).

Nestas condições tornava-se viável uma pesquisa mais sistemática de outras fontes de energia (incluindo a expansão de algumas já existentes, mas que mantinham um estatuto marginal), nomeadamente que

¹ D.Sc. École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS). Universidade Técnica de Lisboa (UTL). E-mail: jrsilva@iseg.utl.pt

² Mais de 1,5 bilião de pessoas não tem ainda acesso à energia moderna, e se nos próximos anos as perspectivas continuarem relativamente favoráveis para muitas regiões em vias de desenvolvimento é expectável que um acréscimo do consumo se vá fazer sentir sobre as fontes modernas actualmente disponíveis (Ramsay, 2009: 64).

possam ser substitutos adequados do petróleo. O próprio gás natural que, graças ao seu (antigo) baixo preço, tinha podido desempenhar um papel alternativo ao petróleo em muitas utilizações, viu entretanto a sua procura mundial aumentar fortemente (entre 1975 e 2005, as suas exportações cresceram em quantidade mais de cinquenta vezes, em contrapartida, a quantidade de petróleo exportada nem chegou a duplicar no mesmo período; Radetzki, 2008: 45), seguia agora a tendência geral para a alta, assistindo-se à erosão da vantagem inicial de preço desta fonte de energia – sem falarmos sequer nas questões de segurança do aprovisionamento (tenha-se em mente o fornecimento russo de gás a alguns países europeus). Considerando tudo isto, por razões económicas, ambientais, geopolíticas, etc., as novas políticas energéticas não poderiam deixar de ser mais seriamente ponderadas pelos governos, que procuraram mesmo implementar diversos tipos de incentivos nesse sentido.

Entre as várias hipóteses que se perfilam no domínio das alternativas energéticas, um destaque particular vai claramente para as fontes que são baseadas em recursos renováveis e que têm um impacto menos negativo no ambiente (Filipe et al., 2007). Assim, e para além da sua viabilidade económica, dois requisitos fundamentais se exigem à nova política de energia: *primeiro*, que, quanto à origem, aumente efectivamente a sua diversidade reduzindo a dependência de uma só dentre elas (muito especialmente do petróleo); *segundo*, que este processo não se faça sacrificando objectivos de natureza ambiental, em particular que contribua para uma efectiva redução das emissões de CO₂ causa principal do efeito de estufa (Lomborg, 2001: 259-60). Devido à sua acuidade, pode-se mesmo dizer que esta questão se tornou, nos últimos anos, e não só no domínio da energia propriamente dita, um dos grandes vectores das políticas públicas, aliás tanto nos países desenvolvidos como em desenvolvimento, pois abre possibilidades diferentes aos dois grupos.

É neste contexto que surge a problemática dos biocombustíveis que podem ser produzidos a partir da biomassa (sobretudo de origem agrícola e florestal). Qual a posição dos EUA no desenvolvimento desta nova fonte de energia? Muito se tem discutido nos últimos anos sobre este assunto cuja análise constitui o nosso objecto principal. Assim, e logo após esta introdução, tratamos da emergência dos biocombustíveis no contexto energético global, identificando em particular os principais actores no processo. Em seguida, apresentamos as características da matriz energética americana onde o recurso aos biocombustíveis se integra. Em seguida, analisamos os principais pilares em que tem assentado a política americana de biocombustíveis. Examinaremos e seguida, os seus dilemas e as possibilidades de mudanças no sector, nomeadamente face aos cenários futuros mais relevantes, destacando-se a articulação com outros países. Finalmente, na secção 6, extraímos as conclusões principais da pesquisa realizada.

A emergência dos biocombustíveis no contexto das fontes alternativas de energia

Importa fazer uma breve abordagem à questão dos biocombustíveis num contexto mais teórico. Como vimos, os biocombustíveis emergiram como uma possibilidade importante de fonte alternativa de energia com algumas vantagens do ponto de vista ambiental e no facto de se basearem em recursos renováveis. Todavia, o problema da sua exploração em larga escala não é assim tão simples pois o aumento da produção principalmente de origem agrícola que continua a estar no essencial na base dos biocombustíveis, como é fácil imaginar, concorre de imediato com outras produções, em particular a que se destina a fins alimentares (tanto humanos como animais) e as tendências das políticas actualmente em curso acentuam este processo:

“O desenvolvimento dos biocombustíveis a fim de aliviar a mudança climática aumentará ainda mais a competição pela terra. As estimativas que têm sido feitas indicam que a produção agrícola canalizada para a energia ocupa apenas um por cento da terra arável global, mas a legislação sobre biocombustíveis nos países desenvolvidos e em desenvolvimento apoia a expansão desta produção ... Projecta-se que a terra a ser cultivada para combustíveis deverá aumentar quatro vezes até 2030, com a maior parte deste crescimento a registar-se na América do Norte (representando 10% da terra arável em 2030) e na Europa (15%).” (World Bank, 2010: 147)

Para se manter algum equilíbrio nos mercados, e não se assistir a grandes rupturas ou bloqueios, o aumento da produção para geração de energia teria de preferência utilizar recursos ociosos, como terras disponíveis ou marginais, ou reflectir fortes aumentos de produtividade que não induzissem maior degradação ambiental.³ É evidente que no curto prazo, estas condições são difíceis de reunir. A escalada dos preços dos produtos alimentares em 2008 (cf. Figura 1), ainda que, em grande parte, fruto do clima especulativo que então se vivia sobre os preços mundiais das *commodities*, lançou uma onda geral de pânico, sobretudo relacionada com o receio de agravamento global da pobreza, que acabou por nos mostrar de uma forma bem real a dimensão do problema.

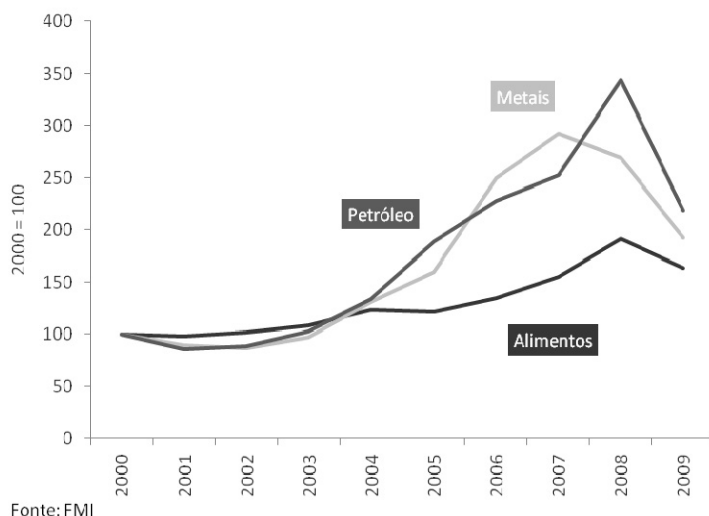


Figura 1 – Preços globais das *commodities* desde 2000.

Referindo-se concretamente ao etanol, produzido a partir do grão de milho, o Relatório do Banco Mundial (2008) chamava a atenção para o facto:

“A quantidade de grãos necessária para encher um tanque de um utilitário desportivo com etanol (240 quilos para 100 litros de etanol) poderia alimentar uma pessoa durante um ano; dessa forma, a competição entre alimento e combustível é real. Os preços crescentes de culturas básicas podem causar perdas significativas de bem-estar social para os pobres, que são na sua maioria compradores líquidos dessas culturas. Mas, outros produtores pobres, que são vendedores líquidos dessas culturas, teriam benefícios com os preços mais altos.” (World Bank, 2008)

Na verdade, para o melhor ou para o pior, foi então que pela primeira vez, graças a inúmeras tomadas de posição pró e contra,⁴ uma grande parte da população mundial se sentiu tocada pelo problema do desenvolvimento da produção agrícola para biocombustíveis e as implicações mais profundas que esta opção pode ter, por exemplo ao nível do desvio de uma parte significativa da produção antes destinada a fins alimentares. A Figura 2 (cujo índice tem uma base fixa diferente da figura anterior) mostra a grande amplitude das oscilações de preços dos principais grupos de *commodities* que se verificaram no período 2007-09, em função deste quadro.

³ Existe uma chamada “segunda geração” de biocombustíveis, que se encontra actualmente em desenvolvimento, na base de algas, *jatropha*, sorgo doce e salgueiros que poderiam reduzir a competição por terra arável e terra marginal, mas muita pesquisa será ainda necessária para melhorar a sua produtividade e o seu potencial para reduzir emissões (World Bank, 2010).

⁴ Veja-se, por exemplo, a entrevista ao *Público* (28 de Setembro de 2008), de Timothy Searchinger, investigador das Universidades de Georgetown e Princeton, com vasta bibliografia sobre a questão: as políticas de fomento dos biocombustíveis conduzidas pelos Estados Unidos e a União Europeia terão “consequências devastadoras”, pelo menos com as características que têm actualmente.

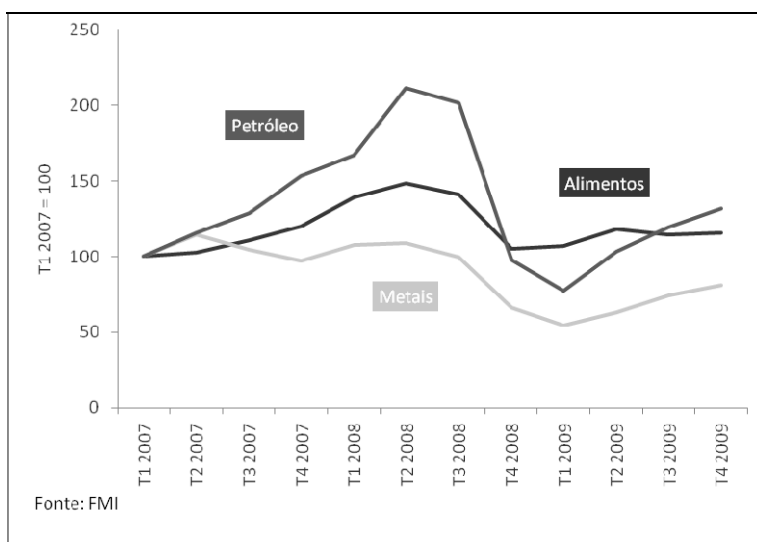


Figura 2 – Preços globais das *commodities* desde 2007.

Deve-se, desde já, sublinhar que o potencial de desequilíbrio dos mercados não é o mesmo para todos os produtos agrícolas que podem entrar na produção de biocombustíveis, em particular do etanol. Assim, o açúcar não comporta grandes riscos a este nível (em termos de custos, terra arável disponível ou impacto ambiental) e até os pode reduzir, o mesmo já não se passa com outros que podem ser inputs importantes na indústria dos biocombustíveis (é o caso do milho, mais relevante para os EUA). Acresce ainda que o etanol proveniente do açúcar não só tem vantagens económicas e ambientais sobre este seu concorrente como também, à tecnologia actual, é um substituto directo da gasolina (é o que acontece no Brasil; ver Adams, 2009). É claro que existem outras produções agrícolas alternativas, nomeadamente a partir de oleaginosas; isto pode ser exemplificado com o óleo de palma que também tem vantagens, em particular um elevado potencial produtivo, - a sua utilização seria aliás benéfica para muitos pequenos produtores dos países em desenvolvimento - mas a sua expansão em grande escala para fins de produção de energia pode pôr em causa a preservação das florestas tropicais (World Bank, 2010). Este caso dá-nos novamente uma imagem reveladora dos impasses que encontramos na prática quando se busca uma solução de âmbito mundial para os problemas energéticos, sobretudo no que respeita à implementação de políticas claramente direccionadas.

Mas, focando uma questão básica no nosso contexto que tem a ver com as duas principais formas de produzir etanol (o mais importante biocombustível actual) a partir da produção agrícola: açúcar ou milho, este último por vezes designada metanol,⁵ pois está no âmago da política americana sectorial. A opção americana por etanol, em particular de origem cerealífera tem sido prosseguida com custos relativos enormes. Assim, segundo o Banco Mundial (World Bank, 2008), existem nos Estados Unidos, 200 medidas de apoio aos biocombustíveis - dispersando-se por incentivos ao consumo, à produção e obrigatoriedade de consumo); o seu custo situa-se entre 5,5 biliões de USD e 7,3 biliões, representando 0,38 USD a 0,49 USD por litro do equivalente a petróleo para o etanol. A mesma fonte refere também o apoio adicional trazido por altas tarifas de importação de etanol. No caso da produção sacarina, onde os EUA não são mundialmente competitivos, todavia também devido a um programa de subsídios à produção têm o seu mercado interno separado do mundial impedindo, entre outros efeitos, a importação oriunda dos países competitivos, no essencial, países em desenvolvimento (Meilke e Cranfield, 2007). É importante sublinhar que, embora as medidas e o tipo de produtos apoiados possam ser diferentes, o panorama é, em substância, o mesmo na União Europeia.

⁵ Nos EUA, o etanol é utilizado como substituto de um aditivo oxigenante o "methyl tert-butyl ether (MTBE)"; Adams, 2009.

É evidente que os produtores agrícolas envolvidos (sobretudo nos países excedentários, como sabemos não necessariamente os mais eficientes, antes pelo contrário, dadas as distorções provocadas no mercado) estão altamente interessados numa política que favoreça ou incentive a produção deste tipo de bens venha ela de um simples acréscimo da procura mundial, ou resulte de subsídios e/ou levantamento de tarifas proteccionistas. Com preços mais altos lograrão maiores benefícios (incluindo rendas extraordinárias no *agro-business*, onde uma larga parte das empresas poderiam subsistir no mercado sem este tipo de apoio), ainda que em detrimento dos consumidores, nomeadamente de produtos alimentares. Neste sentido, é expectável que estes produtores se vão organizar e realizar forte *lobbying*, uma tática muitas vezes conduzida com sucesso político duradouro neste sector dada a sua posição charneira, em particular nos países desenvolvidos. Obviamente, esta dimensão de economia política também não pode ser descartada da actual política de biocombustíveis americana. Assim, por exemplo, durante a Administração Bush, os senadores do *Corn Belt* foram extremamente activos na aprovação do *US Energy Policy Act* (2005) que estabeleceu que a gasolina vendida nos EUA deveria incluir quantidades crescentes de combustível proveniente de recursos renováveis. Esta política levou a que, em 2007, face ao aumento do preço do petróleo, 22% da produção cerealífera americana fosse utilizada na produção de etanol (Adams, 2009).

O domínio multilateral, ainda que nem sempre tenha estado directamente presente nos debates, também não deixa de ter a sua importância. A experiência histórica mostrou que o apoio a sectores agrícolas específicos, no longo prazo, ainda que tenha aumentado a produtividade frequentemente à custa da degradação ambiental, conduz a excedentes num contexto de menor eficiência relativa (tanto nos Estados Unidos como na União Europeia, aqui através da Política Agrícola Comum). Em consequência, a liberalização dos mercados agrícolas tornou-se um dos maiores quebra-cabeças ao nível da OMC devido à oposição de interesses estabelecidos, por exemplo, dificultando seriamente as actuais negociações do *Doha Round*. A nova panóplia de distorções que podem ser introduzidas com as políticas de apoio financeiro, legislativo e sob outras formas aos biocombustíveis (por razões ligadas à produção alternativa de energia ou à redução de emissões poluentes) não são de molde a favorecer a ultrapassagem do impasse comercial internacional, antes pelo contrário, podem agravá-lo. Acrescente-se que não se trata apenas de um problema que envolve certas organizações internacionais, como a OMC, sem grande relevância para a população mundial: a emergência de um sector de biocombustíveis altamente subsidiado nos países desenvolvidos como EUA e UE, ou outros, poderá significar uma perda para muitos produtores competitivos (ou com potencial para sê-lo) dos países em desenvolvimento, muitos deles de pequena dimensão e fracos recursos.

A matriz energética americana e a posição dos biocombustíveis

Antes de iniciar uma análise mais detalhada da política americana de biocombustíveis é necessário apresentar as características principais do seu modelo energético e, entre as várias possíveis, quais as diferenças em relação a outros países ou regiões, em que fontes mais se baseia em termos de produção e consumo, como se integra no panorama mundial, etc.

Em termos da *oferta total de energia primária* (TPES),⁶ com 2.320 milhões de toneladas (em unidades equivalentes ao petróleo) em 2006, os EUA destacam-se com a primeira posição, o que representa 20% do total mundial ainda que em recuo relativamente à sua parte em 1990 (22,3%).⁷ Todavia, como se pode constatar no quadro 1, embora não haja diferenças assinaláveis entre os EUA e a UE (15) no que diz respeito à participação global dos principais tipos de combustíveis fósseis, o mesmo não se passa quanto às

⁶ Sigla inglesa de *total primary energy supply*, na medida em que não se trata de um mero indicador da produção anual de energia, convém explicar o significado deste indicador, note-se que o somatório das percentagens do quadro 1 nem sempre equivale a 100, não fica sequer próximo em alguns casos (e.g., UE). Assim, segundo o *World Development Report* 2010 (p. 371): “A oferta total de energia primária (TPES) é uma medida do consumo comercial de energia. TPES é a soma da produção doméstica, importações, variações de stock, menos exportações e reservas armazenadas para a marinha internacional. Na TPES, uma menor percentagem de combustíveis fósseis e uma maior percentagem de fontes renováveis é um indicador de que os países estão a avançar no sentido de uma economia mais verde” (itálico nosso). Para outros detalhes sobre as colunas do Quadro 1, ver esta mesma fonte.

⁷ Inversamente, a China viu aumentar bastante a sua participação. Assim, entre os mesmos anos (1990 e 2006), passou de 10.0% para 16,3% do total mundial de TPES.

energias renováveis, que incluem os biocombustíveis, e o nuclear, onde os primeiros ficam claramente atrás quanto à importância relativa destas fontes.

Quadro 1 - Oferta total de energia primária (TPES) em 2006: comparando Estados Unidos, UE (15), Japão, Brasil, OCDE e Mundo (em percentagem do total)

	Combustíveis fósseis			Energias renováveis		Nuclear
	Carvão	Gás natural	Petróleo	Hidro, solar, eólica e geotermal	Biomassa e resíduos	
EUA	23.7	21.6	40.4	1.6	3.4	9.2
UE 15	20.5	24.5	40.9	2.4	5.0	15.1
Japão	21.3	14.7	45.6	2.1	1.3	15.0
Brasil	5.7	7.8	40.2	13.4	29.6	1.6
OCDE	20.5	21.9	39.7	2.8	3.8	11.1
Mundo	26.6	21.0	35.7	2.8	9.8	6.3

Fonte: World Bank, 2010.

Entre os países e grupos seleccionados no referido Quadro 1, em termos de energia utilizada proveniente da biomassa e resíduos, os EUA só superam o Japão, encontrando-se em comparação com os demais mal situados; isto é, estão de facto mais dependentes dos combustíveis fósseis⁸ e pouco têm apostado nas energias renováveis, provenientes da biomassa ou não.

O Quadro 2 permite-nos considerar alguns dados adicionais a fim de caracterizar melhor a matriz energética americana, incluindo a sua evolução global desde 1990, em relação a alguns indicadores fundamentais do ponto de vista ambiental. Quando ao dióxido de carbono os EUA não só continuam a ser o maior emissor como ainda apresentam um legado histórico especialmente pesado desde 1850; em termos de produto, as suas emissões, se bem que em redução face a 1990, continuam superiores em 2/3 às da UE. Entre 1990 e 2005, embora as suas emissões de CO₂ tenham crescido a um ritmo inferior ao mundial, ficaram claramente acima da UE e do Japão (14%). Na emissão de outros gases, a sua contribuição é menor e decresceu entre 1990 e 2005, ainda assim novamente menos que a UE e o Japão (-29%). Segundo a mesma fonte, deve-se também referir que com 13,515 kilowatt/hora os EUA têm um dos mais elevados consumos de electricidade *per capita* no mundo, quase o dobro do valor da UE, e cinco vezes superior à média mundial.

⁸ Note-se, de uma forma geral, e não só para os EUA, embora também aqui, tenham uma clara primazia entre os países desenvolvidos considerados, a sobrevivência do carvão como importante fonte de energia, aliás comparativamente o principal emissor de gases com efeito de estufa. Esta *commodity* foi pouco referida até agora, mas o seu preço evoluiu de um modo não muito diferente das outras fontes, embora os efeitos de substituição relativamente ao petróleo e ao gás natural não sejam, como é lógico, negligenciáveis; para mais detalhes ver Nies, 2009.

Quadro 2 - Estados Unidos: Outros indicadores energéticos em perspectiva comparada

<i>Emissões de dióxido de carbono (CO₂)</i>	
Em % do total mundial, 2005	22,0
Varição em %, 1990-2005	19,9
	(4,8 – UE15)
	(28,3 – Mundo)
Cumulativo em % do total mundial, 1850-2005	27,8
Toneladas métricas por mil USD, 2005	0,47
	(0,28 – UE15)
	(0,37 – OCDE)
<i>Emissões de outros gases (não-CO₂)</i>	
Em % do total mundial, 2005	12,3
Varição em %, 1990-2005	- 8,0
	(-18,5 – UE15)
	(1,1 – Mundo)
<i>Consumo de electricidade per capita</i>	
Kilowatt/hora, 2006	13,515
	(7,058 – UE15)
	(8,413 – OCDE)
	(2,750 – Mundo)

Fonte: World Bank, 2010

O conjunto destes dados permite-nos caracterizar, em termos gerais, o modelo energético americano como um utilizador extensivo de combustíveis fósseis, fortemente poluidores e pouco motivados para a sua utilização eficiente, situação que não é recente e onde revela dificuldade em se adaptar a normas ambientais mais avançadas e exigentes. Com efeito, não só apresenta um perfil global muito menos “verde” do que por exemplo o Brasil, um país emergente, como ainda desde 1990, o seu ritmo de mudança no que respeita à emissão de gases com efeito de estufa (CO₂ e outros) tem sido claramente inferior ao da UE e do Japão.

A política de biocombustíveis nos EUA e a independência energética

Dada a importância central da questão energética e a onda esperada, por muitos analistas, de inovações nesta área para as próximas décadas (apesar de se tratar de um sector altamente monopolizado e intervencionado), os Estados Unidos, dado o seu estatuto, como é natural não querem ficar fora do processo e têm procurado jogar no máximo possível de tabuleiros. É importante salientar o potencial de inovação tecnológica no sector, designadamente no que diz respeito à “segunda geração de biocombustíveis”, referida mais atrás, no entanto é preciso levar em conta que estas tecnologias futuras não serão viáveis “por vários anos” (World Bank, 2008). Por outro lado, no contexto da crise internacional de 2008-09, considerando o elevado nível de desemprego atingido, também se tem chamado a atenção para o potencial de criação de postos de trabalho que novas políticas energéticas baseadas em recursos renováveis poderão originar. A produção de biocombustíveis é um dos sectores onde os EUA não querem portanto ficar fora da fronteira tecnológica, e onde, simultaneamente, pretendem criar um número significativo de empregos.⁹

⁹ Segundo Kahn (2009), o presidente Barack Obama terá prometido em Novembro de 2008, qualquer coisa como cinco milhões de “novos empregos verdes” a ter lugar nos EUA, mas, como este autor faz oportunamente notar, a legislação ambiental (anti-emissões de CO₂) tanto criará empregos como os destruirá.

Mas, a política americana de biocombustíveis não pode deixar de ser marcada pelas condições de produção prevalentes no seu mercado doméstico, em parte já descritas. Com efeito, os estudos que têm sido realizados apontam claramente no sentido de que o uso de biocombustíveis baseados no milho, a sua principal hipótese neste domínio, aumentaria os gastos de saúde, sem haver mesmo a certeza que venha a contribuir para a redução das emissões de CO₂ (Hill et al., 2009). Estas limitações americanas no desenvolvimento da sua política de biocombustíveis através da expansão da produção agrícola relacionada têm sido sublinhadas por diversos estudos:

“As políticas de alívio (da mudança climática) podem também produzir efeitos negativos e reduzir o bem-estar se efeitos subsequentes não são considerados na sua definição e execução. Em relação à produção de etanol de origem celulósica e mesmo à gasolina, a produção de biocombustíveis baseada em cereais nos Estados Unidos impõe custos de saúde mais altos e apenas proporciona duvidosas reduções na emissão de CO₂.” (World Bank, 2010).

Assim, pelo menos até agora, o principal dilema da política americana de biocombustíveis cujo desenvolvimento parece incerto e com custos elevados (não só de produção), engendrando toda uma série de novos problemas internos e externos. A entrada americana no sector pode acarretar a introdução de mais distorções substanciais nos mercados, designadamente sob a forma de subsídios e tarifas, com vista ao lançamento da “nova” indústria. Dado o peso que este país ainda mantém como consumidor e produtor, esta política se conduzida em larga escala pode desarranjar profundamente os mercados mundiais. Nas condições actuais, um avanço significativo na produção agrícola americana para combustíveis baseada nos cereais em que são mais competitivos (o milho) colocaria por outro lado o país em oposição bem visível ao aprofundamento da política ambiental internacional, uma área onde surgem pressões crescentes para se colocar a par e passo com o resto do mundo (esforço onde se tem destacado o ex-vice presidente dos EUA e prémio Nobel da Paz em 2007, Al Gore, 2009). Isto é, ainda que o incremento da oferta de biocombustíveis por esta via satisfizesse o critério de diversificar as fontes energéticas não corresponderia certamente ao segundo que identificámos no início deste trabalho: impacto ambiental favorável.

Obviamente que, nestas circunstâncias, os EUA se podiam abster desta produção e, dentro de uma lógica de comércio livre, fornecer-se junto de produtores mundialmente competitivos, isto é com menores custos tanto económicos quanto ambientais (é o que alguns países já estão ou querem fazer, por exemplo, a Suécia). Aqui, no entanto, surge outro pilar fundamental do que tem sido a política energética americana, o da sua independência. A Administração Obama não tem sido, neste aspecto, fundamentalmente distinta das suas predecessoras. Todavia, na medida em que a prossecução deste objectivo, dado o elevado consumo americano de energia per capita, só pode provavelmente ser atingido com custos cada vez mais elevados e é dificilmente controlável nos seus vários efeitos, um número crescente de especialistas tem apelado à Administração para o estabelecimento de objectivos mais modestos, mas também mais conformes com os requisitos ambientais. Edward Morse escrevendo em *Foreign Affairs* quase um ano depois da eleição da nova administração é claro a este respeito:

“Os Estados Unidos têm todo o interesse em liderar construtivamente a mudança no mercado de petróleo. Contudo, até agora, o presidente Barack Obama e a sua Administração não se manifestaram interessados em aproveitar estas oportunidades. Eles parecem apegados à agenda de energia que desenvolveram durante a campanha presidencial de 2008, a qual focava a necessidade dos Estados Unidos se tornarem independentes em termos de energia através da redução rápida da sua dependência de combustíveis fósseis e da promoção de recursos renováveis. Mas eles ignoram o facto de estas mudanças não se poderem realizar em menos de uma década e que, entretanto, podem falhar uma ocasião única para fazer mudanças no sector petrolífero ... É tempo de Obama reconhecer publicamente que a independência energética dos Estados Unidos é uma tarefa impossível e que o prosseguimento de objectivos mais modestos é a melhor maneira de garantir a segurança energética do país.” (Morse, 2009)

É dentro destes dois parâmetros fundamentais, participação no avanço tecnológico (incluindo a criação de empregos qualificados) e preservação da independência, que a política energética americana parece continua a mover-se. Neste sentido uma das primeiras medidas da administração Obama foi a aprovação de

um pacote 150 bilhões de USD para desenvolver as “tecnologias verdes” durante os próximos dez anos (Kahn, 2009). No entanto, como vimos, há risco de estes programas resultarem no essencial em benefício de interesses sectoriais, não necessariamente o que seria mais lógico ajudar em termos económicos e sociais, e falharem algumas das suas metas principais (ao nível ambiental, por exemplo).

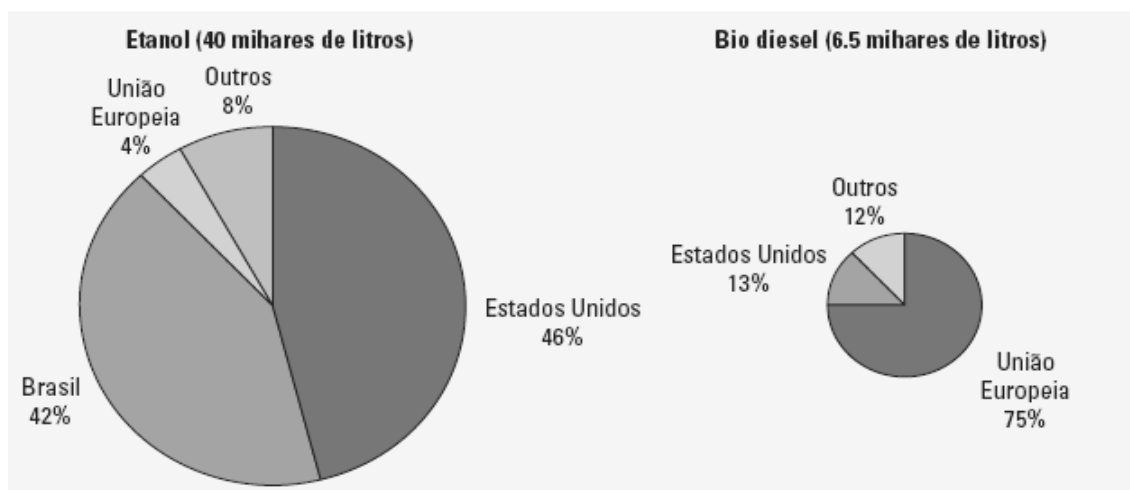
Aceitando a manutenção deste quadro, devemos admitir que provavelmente vamos assistir no futuro a pressões para aceleração da mudança nas políticas energéticas americanas, como de resto pode acontecer também a outros níveis (por exemplo, maior coordenação monetária internacional em vez de dólar “rei absoluto” em função das necessidades internas, cujas inflexões trazem sobretudo custos para os “outros”), dadas as novas condições geopolíticas mundiais evidenciadas pela formação do G20, reforço dos BRIC, etc. Isso pode por exemplo passar por uma ênfase menor na independência energética e, em contrapartida, numa maior cooperação no médio/longo prazo, numa base negociada, com os outros países. Todavia, sabemos que estes processos de transição, com maior ou menor amplitude, são geralmente morosos e não será com facilidade que os EUA abandonarão políticas que lhe davam no passado a possibilidade de ditar regras num domínio tão decisivo do ponto de vista económico e político como o da energia (tenha-se, por exemplo, em vista a importância adquirida ao longo das últimas décadas pela regulação deste mercado através dos seus stocks estratégicos, introduzidos nos anos 1970). Estes temas serão abordados em seguida com mais pormenor.

Discutindo as perspectivas de mudança e os cenários futuros

A produção de biocombustíveis aumentou significativamente na primeira década de 2000 (entre 2000 e 2007, a produção global de etanol aumentou mais de 2,5 vezes e a de biodiesel multiplicou-se oito vezes; World Bank, 2010: 147), todavia partia-se de um nível bastante baixo e a sua parte como fonte de energia é ainda reduzida, como vimos; nos próprios Estados Unidos, em 2007, apesar dos esforços políticos que têm sido desenvolvidos para aumentar o seu consumo, o etanol para motores não representou mais do que 4% do total de combustíveis consumidos. Note-se também que a produção mundial de biocombustíveis se encontra altamente concentrada, a de etanol nos EUA e no Brasil, a de biodiesel (proveniente de outras oleaginosas como a soja e a colza) na UE, contudo, em termos quantitativos a primeira supera de longe a segunda (a proporção é, aproximadamente, de 6 para 1; cf. figura 3). Por outro lado, é importante ter presente, na linha do que sublinhámos no início, que o mercado dos biocombustíveis tem características peculiares, devendo-se este seu forte crescimento à alta dos preços de outras fontes primárias de energia (com destaque para o petróleo e o gás natural) e que se encontra, nesta fase, fortemente intervencionado.

Apesar de serem o maior produtor de etanol (em 2006), superando ligeiramente o Brasil, como ficou evidente de toda a exposição anterior, os EUA não são competitivos no sector e só barreiras da mais diversa ordem, protegendo a produção doméstica, permitem o seu crescimento. Nas condições de uma mais livre circulação comercial, uma grande parte dessa produção não resistiria sob o efeito concorrência mundial, designadamente vinda do Brasil, cujo etanol é não só mais limpo e rentável como ainda mais barato, abrindo portas ao incremento rápido do seu consumo. Também o Relatório do Banco Mundial 2010 salienta a importância de se adoptar uma solução mais cooperante, pois pode trazer mútuos benefícios não só para estes dois países, mas também em geral:

“As políticas de alívio (da mudança climática) podem ser aproveitadas com vista a proporcionar benefícios comuns, para além de reduzir as emissões e poder criar novas oportunidades locais e regionais. Os biocombustíveis podem fazer do Brasil o próximo grande fornecedor mundial de energia – a sua produção de etanol mais que duplicou desde a viragem do século.” (World Bank, 2010)



Nota: Porção global da produção de etanol e biodiesel no ano 2006.

Fonte: Extraído de World Bank, 2008.

Figura 3 - Produção mundial de biocombustíveis.

Não obstante os EUA mostrarem resistência à adopção de uma solução de tipo cooperativo, com reais benefícios, para além dos ambientais, para consumidores e produtores mundiais, a hipótese não pode deixar de se colocar considerando a inevitabilidade de terem de melhorar o seu modelo energético. O mesmo facto foi evidenciado pelos estudos preparativos da Cimeira de Copenhaga de Dezembro de 2009, nomeadamente no que respeita aos cenários que foram traçados quanto à evolução futura do modelo energético americano. O quadro 3 foi elaborado nessa base, apresentando dois cenários para os EUA em 2020 e 2030. O *Cenário de Referência* diz respeito aos resultados esperados para o país e anos considerados à luz das medidas que já foram tomadas para atingir certos objectivos ambientais, em particular no que concerne à redução das emissões de CO₂. O *Cenário 450* foi estabelecido tendo como objectivo a estabilização a longo prazo da concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera (na base de 450 partes por milhão de CO₂ equivalente – daí a designação; OECD/IEA, 2009: 3). Observando o quadro 3, constata-se que para os EUA, os resultados do cenário de referência estão, de uma forma geral, aquém, por vezes consideravelmente, do que seria desejável no contexto do cenário 450 que é mais avançado em termos ambientais.

Com efeito, o cenário 450 imporia para os EUA alguns objectivos mais ambiciosos para 2020, em relação a 2007, tais como:

- redução de 18% nas emissões de CO₂ relacionadas com energia
- decréscimo de 25% da intensidade CO₂ na geração de electricidade e uma diminuição de 41% em média da intensidade CO₂ da frota de carros.
- diminuição das emissões de CO₂ em 16% dos edifícios e de 25% na indústria.
- investimento adicional em tecnologias com baixa intensidade carbónica e eficiência energética da ordem dos 90 biliões de USD.

Segundo as previsões da OECD/IEA, para atingir os objectivos do cenário 450 em 2030, os EUA teriam de investir 1,1 trilião de USD durante 2010-2030; dos quais 53% iriam para energias renováveis, mas onde apenas uma pequena parte seria investida em biocombustíveis (OECD, 2009); o que indicia que estas organizações não atribuem aos EUA um grande potencial neste sector específico. Mesmo que haja condições para os EUA se limitarem ao mais modesto cenário de referência, é evidente que o seu sector energético vai-se encontrar nos próximos anos, senão mesmo décadas, perante uma grande pressão para a

sua reestruturação profunda num sentido mais “limpo” e que este factor terá que ser levado em conta no desenvolvimento da sua indústria dos biocombustíveis, independentemente da importância quantitativa que ela venha a ter.

Quadro 3 - Estados Unidos: indicadores chave para o ambiente e a energia, evolução recente e cenários.

	1990	2007	2020		2030	
			Cenários Referência 450		Cenários Referência 450	
População (milhões)	254	306	343		367	
Perc. População mundial	5	5	5		4	
PIB (USD 2008 trilião, PPC)	8,7	14,1	18.1		22,4	
Perc. PIB mundial	23	21	18		16	
Perc. Emissões mundiais de CO ₂	23	20	16	15	14	12
Emissões CO ₂ per capita (t)	19,1	18,7	15,9	13,7	15,1	8,6
Procura de energia per capita (toe)	7,5	7,6	6,7	6,3	6,5	5,7
Índice intensidade CO ₂ (mundo 2007=100)	130	95	70	61	58	33
CO ₂ acumulado desde 1890 (Gt)	239	333	404	400	459	437
Perc. acumulado mundial de CO ₂	31	28	25	25	23	23
Intensidade de potência CO ₂ (g/kWh)	577	565	509	423	468	185
Intensidade CO ₂ da frota de carros	n.a.	100	80	59	72	39

Fonte: OECD/IEA, (2009)

Conclusão

Neste capítulo analisámos a forma com tem evoluído a política de biocombustíveis nos EUA, colocando-a num contexto mais geral do modelo energético adoptado, bem como expusemos a sua substância e as suas hipóteses de mudança. Começámos por mostrar como na primeira década dos anos 2000, à escala mundial, emergiram condições mais favoráveis à alteração do modelo energético geral prevalecente desde os anos 1970, ainda muito baseado em recurso não renováveis, em particular combustíveis fósseis, concomitantemente, destacámos as novas oportunidades criadas para os biocombustíveis, dentro de uma lógica da sua utilização moderna, isto é, com recurso a tecnologia avançada. Este desiderato teria, no entanto, que obedecer a dois requisitos: não só ver viável economicamente como ainda contribuir para, pelo menos, atenuar a mudança climática.

Os EUA, como primeiro produtor e consumidor, têm desempenhado um papel central no mercado mundial da energia. Mas, o seu modelo manteve-se muito dependente dos combustíveis fósseis e, no passado, houve escasso incentivo para o incremento de produção de energia baseada em recursos renováveis, não só em relação a outros países e regiões desenvolvidos como a UE e o Japão, mas também em relação a países em desenvolvimento e emergentes como o Brasil. Os EUA estão assim claramente numa encruzilhada, onde se acumulam as pressões de vária origem (interna e externa), a fim de alterar o seu padrão energético, onde surge claramente como um *laggard*. Neste contexto, o desenvolvimento do sector dos biocombustíveis é uma das suas principais alternativas e um dos possíveis modos de recuperar o tempo perdido.

Todavia, no estado actual da pesquisa, em termos gerais, a produção americana de biocombustíveis ou não se apresenta competitiva e/ou pode gerar toda uma série de problemas colaterais sem resolver outros que são fundamentais, em particular do ponto de vista ambiental. Mesmo a hipótese de criar uma nova indústria de biocombustíveis, baseada na sua produção mais competitiva e adaptada para o efeito, o milho, teria de ser apoiada fortemente em subsídios e barreiras diversas de protecção face ao exterior teriam de ser simultaneamente erguidas, pelo que uma tal aposta poderá significar elevados custos eco-

nómicos e sociais e lançar uma perturbação duradoura e profunda nos mercados mundiais, tanto energéticos quanto alimentares. Outra hipótese, que seria viável, a de aumentar as trocas com o exterior e abastecer-se junto dos produtores competitivos no sector dos biocombustíveis, conduziria os EUA a ter de repensar um dos objectivos centrais que tem estado, até agora, na base da sua política energética: o da independência.

Seja como for, e considerando os cenários para o futuro que apontam claramente no sentido de modelos energéticos que contribuam o menos possível para a emissão de gases com efeito de estufa, os Estados Unidos vão ter que tomar decisões de natureza estratégica no sector em geral e nos biocombustíveis em particular, reduzindo-se cada vez mais o tempo e a margem de que dispõem para tal. Isto é, em termos resumidos, vão ter de decidir se querem liderar a mudança energética mundial (ou pelo menos participar no processo) ou se, pelo contrário, preferem continuar a ficar para trás.

Referências bibliográficas

- ADAMS, F. G. (2009). "Will economic recovery drive up world oil prices?", *World Economics*, Vol. 10, nº 2, Abril-Junho.
- FILIFE, J. A., COELHO, M. F. e FERREIRA, M. A. M. (2007). *O drama dos recursos humanos*, Edições Sílabo, Lisboa.
- GORE, A. (2009). A Europa e o Japão têm feito mais do que os EUA, *Expresso* (Lisboa), 12 de Dezembro.
- HILL, J., POLASKY, S., NELSON, E., TILMAN, D., HUO, H., LUDWIG, L., NEUMAN, J., ZHENGH. e BONTA, D. (2009). "Climate change and health costs of air emissions from biofuels and gasoline", *Proceedings of the National Academy of Science* 106 (6): 2077-82.
- KAHN, M. E. (2009). "Think again: the green economy", *Foreign Policy*, Maio/Junho.
- LOMBORG, B. (2001). *The skeptical environmentalist*, Cambridge University Press, Cambridge.
- MEILKE, K. D. e CRANFIELD, J. (2007). Production Subsidies, in W. A. Kerr e J. D. Gaisford, Eds, *Handbook on International Trade Policy*, Edward Elgar, Cheltenham, pp. 292-301.
- MORSE, E. L. (2009). "Low and behold: making the most of cheap oil", *Foreign Affairs*, Setembro/Outubro, pp. 36-52.
- NIES, S. (2010). Charbon: L'avenir sera-t-il noir?, in T. de Montbrial e P. M. Defarges, Dir., *RAMSES 2010*, IFRI/Dunod, pp. 72-78.
- OECD/IEA (2009). How the energy sector can deliver on a climate agreement in copenhagen, Special early excerpt of the World Energy Outlook 2009 for the Bangkok UNFCCC meeting, International Energy Agency, Paris.
- RADETZKI, M. (2008). *A handbook of primary commodities in the globaleconomy*, Cambridge University Press, Cambridge.
- RAMSAY, W. C. (2009). Énergie et climat: quel avenir pour les politiques énergétiques? in T. de Montbrial e P. M. Defarges, Dir., *RAMSES 2010*, IFRI/Dunod, pp. 63-65.
- SEARCHINGER, T. (2008). Os biocombustíveis causam fome e levam à destruição das florestas. *Público*, Lisboa, 28 de Setembro.
- WORLD BANK (2008). Bio-combustíveis: a promessa e os riscos. Resumo de políticas do Relatório do Desenvolvimento Mundial, *Agricultura para o Desenvolvimento*, Washington.
- WORLD BANK (2010). *Development and climate change*, World Development Report, Washington.

A SITUAÇÃO ENERGÉTICA DA UNIÃO EUROPEIA E O CASO PARTICULAR DOS BIOCOMBUSTÍVEIS: DIAGNÓSTICO ACTUAL E PERSPECTIVAS

CARLA GUAPO COSTA¹

Introdução

A construção europeia sempre teve nos seus fundamentos, uma preocupação, mais ou menos explícita, com as questões relacionadas com a energia, nomeadamente com a sustentabilidade do abastecimento (segurança das fontes) e com a eficiência na sua utilização.

Já nos anos 1950, os dois Tratados de Roma que representam a base para a emergência da UE, o Tratado que estabelece a Comunidade Económica Europeia (CEE) e o Tratado que estabelece a Comunidade Europeia de Energia Atómica (EURATOM) colocavam alguns desafios fundamentais no domínio da definição de uma política de energia (Costa, 2004). A CEE herdou, por via da Comunidade Europeia do Carvão e do Aço (CECA) um enfoque especial na cooperação energética para o uso de carvão e do aço, colocando sob uma autoridade comum a produção de carvão e aço de dois países outrora beligerantes (França e Alemanha), enquanto o EURATOM continua a desenvolver esforços para potencial a utilização pacífica de energia atómica, a partir da exploração de urânio (Baldwin e Wyplosz, 2004).

No entanto, os desenvolvimentos a nível mundial, nomeadamente em matéria de protecção ambiental e questões climáticas, e os sucessivos alargamentos da CEE/UE levaram à necessidade de reflexão sobre o desenvolvimento de outras fontes energéticas, nomeadamente as energias renováveis e, no seio destas, os biocombustíveis.

Na verdade, mais de 50 anos depois da entrada em vigor dos Tratados de Roma, a evolução das questões energéticas desperta a necessidade de definir novas políticas e regulações. Algumas das questões que já se faziam sentir em meados da década de 1970, quando a então CEE sofreu profundamente as consequências dos choques petrolíferos (como a dependência das importações de petróleo ou a necessidade de diversificação na produção de electricidade), estão novamente a emergir, mas em diferentes contextos. No caso do petróleo, existe uma mudança no centro geográfico da dependência. No caso da electricidade, a ênfase desviou-se das fontes tradicionais de carvão e nuclear para outras fontes mais dispersas e de recursos renováveis.

Entre os principais desafios a enfrentar está, naturalmente, a questão climática. A Europa foi uma das responsáveis pela criação do *Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas*, que recebeu o Prémio Nobel da Paz em 2007, e que traduz os esforços das instituições europeias em liderar as iniciativas para criar um sistema energético amigo do ambiente. O pacote “20/20”, um marco na definição das opções estratégicas da UE em matéria de energia, incluía, como objectivos para 2020, reduzir a emissão de gases com efeitos de estufa em 20%, melhorar a eficiência energética em 20%, garantir que 20% da produção energética teria origem em energias renováveis, com uma quota de 10% para os biocombustíveis (EREC, 2007).

Caracterização e tendências do sistema energético da UE

Os últimos 15 anos testemunharam significativas alterações no sistema energético da UE, pelo que vale a pena referir algumas tendências estruturantes. Uma importante é a forte descida da intensidade energética, mesmo nos anos mais recentes, quando o euro estava forte nos mercados internacionais. Como se pode verificar pela tabela abaixo, a UE tem vindo a reduzir de forma sustentada a intensidade energética,

¹ D.Sc. Instituto Superior de Economia (ISEG/UTL Gestão/Universidade) Técnica de Lisboa. Universidade Técnica de Lisboa (UTL). E-mail: cguapoc@iscsp.utl.pt.

carbónica e de emissões de CO₂ por habitante, apesar da existência de várias economias de industrialização madura, onde a poupança é mais onerosa (Eurostat, 2009b).

Tabela 1 - Alguns dados sobre o sistema energético da UE

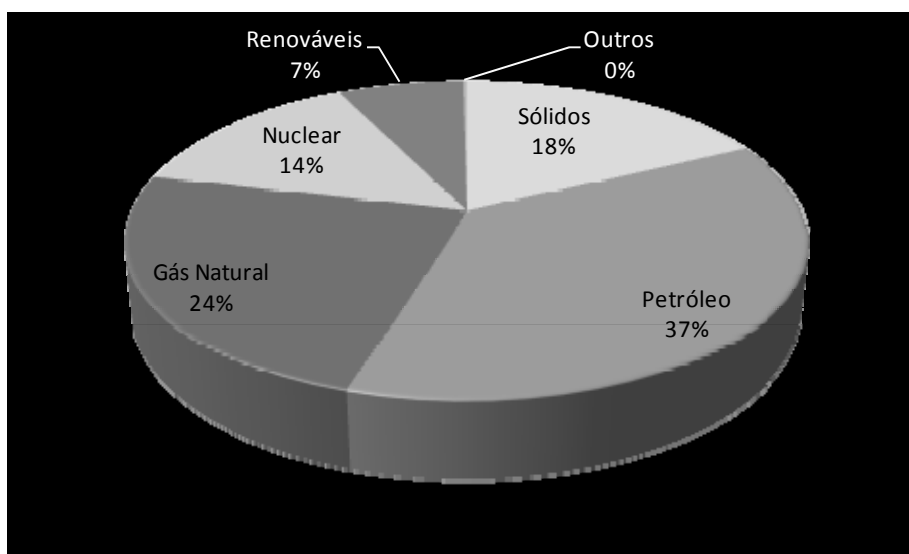
Anos	Intensidade energética	Intensidade Carbono	Emissões CO ₂ per capita
1990	215,1	2,75	9200
1995	209	2,61	9060
2000	187,8	2,52	8998
2001	288,5	2,51	9145
2002	185,6	2,5	9066
2003	188	2,5	9261
2004	185,4	2,5	9299
2005	182,1	2,49	9236
2006	176,6	2,5	9230

Nota: Intensidade energética medida por t/M.Euros; Intensidade de Carbono medida por CO₂/t; Emissões CO₂ per capita medida por Kg/Habitante.

Fonte: Eurostat (2010).

A UE é dependente de combustíveis fósseis em cerca de 79% da sua energia primária, e dessa percentagem quase metade é petróleo ou derivados, numa proporção que tem sofrido poucas alterações desde o início dos anos 1990. Como podemos ver pela análise das figuras seguintes, no que respeita ao consumo de energia realizado no interior do espaço comunitário, o petróleo e o gás natural representam as principais contribuições, seguindo-se os combustíveis sólidos, com destaque para o carvão, uma das tradicionais fontes energéticas europeias. As energias renováveis ocupam uma posição modesta, com apenas 7% do total. Apesar das controvérsias sobre a utilização da energia nuclear, e da variedade do protagonismo da mesma no seio da UE, a sua contribuição é, no entanto, significativa (Eurostat, 2009b).

A principal fonte energética em termos de produção primária na UE é o gás natural, que iguala a produção de carvão e linhite combinados. Ao longo do tempo, o gás natural e a biomassa tornaram-se substitutos do carvão, tendo o *boom* do gás ocorrido em meados dos anos 1990. A biomassa aumentou consideravelmente, com a produção em 2006 a atingir valores que representam o dobro do alcançado em 1990 (EC, 2003). No sector dos transportes, a popularidade das viagens aéreas originou um acréscimo muito significativo na procura de combustível para avião, representando o transporte aéreo agora 14% do consumo de petróleo no sector dos transportes (EC, 2006b).

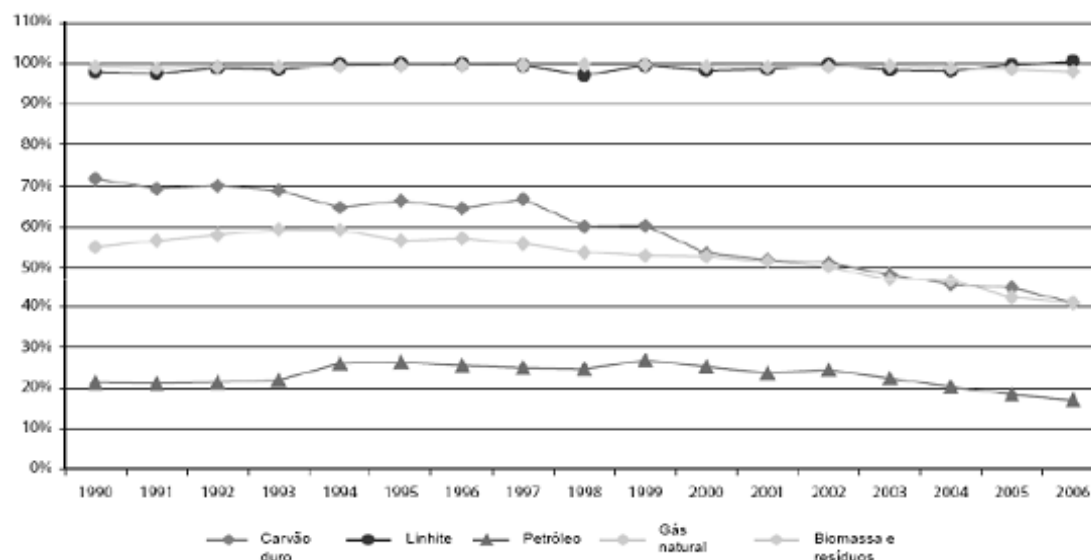


Fonte: Eurostat.

Figura 1 – Consumo de energia da EU-27 (dentro das fronteiras), 2006, Mtoe

Outro desenvolvimento no sector dos transportes foi a mudança, nos automóveis, para o diesel, o que tem consequências mais sérias em termos de substituição por biocombustíveis, já que torna mais complexo a criação do mercado do bioetanol. No entanto, pode levar à criação de incentivos para o biodiesel, que têm sido prosseguidos em todos os países, com destaque para a Alemanha, que produz 51% de todo o biocombustível na UE, em 2007 (Radetzki, 2008).

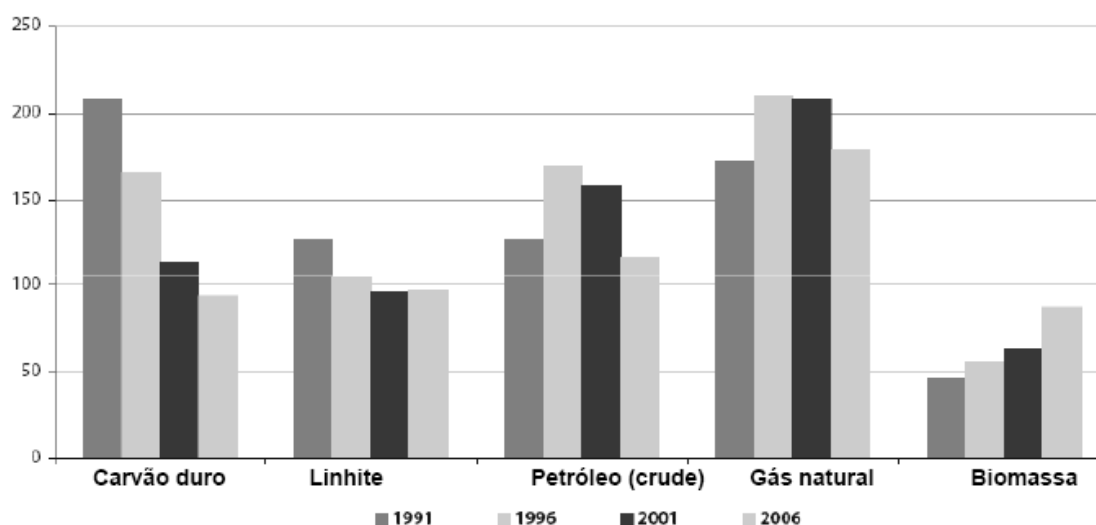
Por outro lado, a relação entre produção primária e consumo tem vindo a modificar-se nos últimos anos, acompanhada por uma dependência crescente das importações de combustíveis fósseis, já que, graças à liberalização dos mercados e das trocas comerciais, as importações são agora mais baratas, ao mesmo tempo que os maiores recursos fósseis da UE estão em declínio. Em consequência, as principais *commodities* (crude, gás natural, e carvão duro) exibem uma quota em decréscimo na produção primária comunitária face ao consumo (Figura 2).



Fonte: Eurostat.

Figura 2 - Quota de fontes de energia primária (produção interna da UE) no consumo comunitário.

Em termos históricos, as principais tendências desde 1990 na estrutura das fontes primárias de energia foram o aumento dos renováveis, o decréscimo do carvão e o aumento no gás natural. A parte do gás natural entre os três combustíveis fósseis aumentou, passando de 21% em 1990, para 31% em 2006, enquanto a percentagem de carvão passou de 33% para 23% no mesmo período. A quebra do carvão e a subida do gás natural coincidem com a proeminência da política de mudanças climáticas no seio da UE: a *Convenção das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas* data de 1992 e 1990 é o ano base para a redução das emissões sob a égide do *Protocolo de Kyoto*. O mesmo período temporal corresponde igualmente a maior disponibilidade das importações de gás e petróleo da Federação Russa, no seguimento da desintegração da URSS, em 1991 (Eurostat, 2009b).



Fonte: Eurostat.

Figura 3 - Produção primária de combustíveis na UE (milhões de toe).

No que respeita as tendências de produção e consumo, a UE reduziu a produção primária em favor das importações, aumentando assim o seu já elevado grau de dependência. O sector dos transportes tem tido um crescimento imbatível, registando 29% do consumo final de energia em 2006. A parte da electricidade também aumentou, passando de 16% para 19%, o que não é de estranhar dada a crescente orientação para economias baseadas em serviços (Eurostat, 2009a).

A UE 27 é profundamente dependente de importações de combustíveis fósseis. Em 2006, as importações líquidas de petróleo representaram 83% do consumo interno da UE, enquanto as de gás natural chegaram aos 60%, e o carvão duro aos 41%. Em todos os casos, a dependência tem vindo a aumentar de forma sustentada desde o início dos anos 1990 (Tabela 2).

Tabela 2 - Dependência das importações de combustíveis, UE27, 2006 (%).

	Global	Sólidos	Petróleo	Gás
UE27	53,8%	41,1%	83,7%	60,7%

Fonte: Eurostat.

Enquanto as importações de petróleo e gás natural são induzidas pela procura, as importações de carvão relevam da preferência por carvão de maior qualidade, que tem maior conteúdo energético e menos emissões, já que a maior parte do carvão produzido na UE é linhite de baixa qualidade. A produção de electricidade é madura e bem desenvolvida, em toda a UE; quase 90% da geração de electricidade na UE provém de 4 fontes: nuclear, carvão, hídrica, e gás (Eurostat, 2009a).

A origem geográfica das importações também é diferenciada, e varia consoante o combustível. A Federação russa é uma importante fonte para os dois principais combustíveis: fornece 33,5% das importações totais de petróleo por parte da UE27, e 42% das importações de gás; o Médio Oriente, a Noruega e o Norte de África são fornecedores significativos de petróleo, sendo estes últimos poderosos também no fornecimento de gás natural. A Austrália, Colômbia e África do Sul desempenham um papel relevante nas entregas de carvão duro (Eurostat, 2009b).

No que respeita ao consumo final, a estrutura é claramente dominada pelo sector industrial (principalmente ferro e aço, químicos e cerâmicas), transportes e famílias, que, no seu conjunto, representam 86% do consumo em 2006; o petróleo para o sector dos transportes constitui, de longe, o mais intenso, representando 30% do consumo final de energia. No sector dos transportes, a esmagadora maioria (cerca de 82%) da utilização de energia é utilizada para o transporte rodoviário, embora a aviação tenha vindo a registar um forte crescimento (Eurostat, 2009b). As indústrias químicas detêm também a maior parte do consumo de energia eléctrica entre todos os sectores industriais, e a proeminência dessas indústrias no contexto comunitário significa que continuarão a desempenhar um papel relevante na definição das políticas climáticas e de energia.

Efectivamente, estas últimas têm vindo a tornar-se crescentemente inter-relacionadas no contexto comunitário ao longo da última década, pelo que a necessidade de mitigar os impactos sobre o clima constitui o principal enfoque da política de energia da UE. Uma economia de baixa intensidade em carbono é necessária para evitar as custosas consequências da mudança climática e para promover a economia europeia mais competitiva. As emissões de Gases produtores de Efeitos de Estufa (GEE) relacionadas com a produção de energia representam 80% de todas as emissões comunitárias de GEE, em 2006, o que não surpreende numa economia madura centrada no sector de serviços, correspondendo igualmente a 83% das emissões de CO₂ (EREC, 2007).

O sector dos transportes foi o único a registar um aumento absoluto, cerca de 27%, comparado com 1990, representando agora quase 25% de todas as emissões relacionadas com energia. Existem, também, significativas disparidades entre os países, o que evidencia ainda mais a necessidade de uma política harmonizada (EC, 2006a).

A ênfase nos mercados abertos e em objectivos ambientais que tem caracterizado a política de energia da UE nos anos mais recentes levantou outro tipo de preocupações, como a segurança, confiança e a sustentabilidade das fontes energéticas. Um exemplo é o papel do gás natural como a mais limpa das energias fósseis em combinação com os mercados abertos da UE, que levou a um aumento significativo da dependência face às importações de gás natural. No entanto, esta dependência crescente pode ser contrariada, quer pela melhoria das interligações, quer pela diversificação do aprovisionamento e a substituição do gás natural por outras fontes, como o biogás (EU, 2006a).

Em 2007 e 2008, os preços mundiais do petróleo aumentaram muito rapidamente para o seu nível mais elevado de sempre, levantando novas preocupações com as indústrias e consumidores europeus (Adams, 2009). Mesmo com os aumentos do preço do petróleo a fazerem-se sentir sobre a competitividade das indústrias, não se verificaram grandes mudanças no consumo, o que demonstra que não existem efectivamente alternativas viáveis à utilização do petróleo no sector em causa, significando igualmente que uma cada vez maior percentagem do rendimento comunitário está a ser afecto ao pagamento das importações de petróleo. O elevadíssimo custo desta dependência constitui, aliás, um dos motivos principais pelo qual a Comissão atribui uma importância determinante à promoção dos biocombustíveis, como poderemos ver abaixo (EC, 2006a).

Quanto ao carvão, embora tenha sido historicamente abundante na Europa, comparado com o petróleo, também se tornou uma questão de preocupação em termos de segurança das importações. Muito do carvão que existe no seio do espaço comunitário é linhite, o que limita impactos ambientais e maximizar o seu valor. A dependência do carvão importado também introduz outra dimensão na questão da segurança no aprovisionamento, obrigando à diversificação das fontes e dos fornecedores (Eurostat, 2009b).

A energia nuclear foi inicialmente perspectivada como um mecanismo efectivo para combater a crescente dependência dos países da UE dos combustíveis sólidos. No entanto, e embora a utilização da energia nuclear tenha ganho popularidade por várias razões, continua a levantar problemas de segurança, particularmente no que respeita ao lixo radioactivo.

Uma componente chave do pacote de energia e clima da Comissão é o compromisso de redução do consumo de energia em 20% até 2020, em relação à situação actual (EC, 2007a). A eficiência energética é, talvez, o único domínio da política de energia que contribui para todos os objectivos fundamentais da Comissão: a eficiência energética reduz as emissões de GEE, equaciona a segurança energética, reduz os custos dos serviços de energia para os consumidores, e melhora a competitividade económica, podendo ainda criar novos empregos através da inovação induzida. Em suma, a eficiência energética pode melhorar a competitividade da indústria europeia e reduzir a vulnerabilidade das infra-estruturas europeias a súbitas mudanças no tempo ou nos preços da energia (EREC, 2007). O sector com maior potencial de poupança energética é o sector dos serviços comerciais, que se estima possa ir até 30% em 2020, enquanto os restantes sectores (residencial, transporte, indústria) oscilem entre os 25% e os 27% (EREC, 2007).

Apesar dos esforços, o consumo de energia e a emissão de GEE têm vindo a aumentar de forma sustentada no sector dos transportes, e, em consequência, a Comissão tem vindo a agilizar as suas acções em relação à eficiência energética e à redução de emissões, particularmente para o transporte rodoviário, que é responsável pela esmagadora maioria das emissões. No entanto, o progresso tem sido mais lento do que o inicialmente esperado, em atingir o alvo de uma média de 120 gramas de CO₂/km para todos os novos carros de passageiros até 2010, tendo agora o alvo passado para 2012 (EC, 2008).

A importância das energias renováveis no panorama comunitário

Os sucessivos alargamentos do espaço comunitário, a liberalização dos mercados de energia, o aumento da dependência energética, as preocupações ambientais e a pressão para o aumento das energias renováveis, têm constituído poderosas dinâmicas para a mudança da estrutura energética da UE nos anos mais recentes. As fontes renováveis não hídricas para electricidade e biomassa aumentaram substancialmente. Ao mesmo tempo, o consumo de gás natural aumentou também de forma significativa, quer para a produção de electricidade, quer para outros usos, enquanto o consumo de carvão e petróleo fora do sector de transportes diminuiu. A crescente dependência do sector dos transportes pelo petróleo e o aumento da popularidade do gás natural nos anos mais recentes têm contribuído para a continuada dependência energética da UE em termos de importações. A legislação e as iniciativas para mitigar as alterações climáticas e melhorar a segurança energética também deram a sua contribuição, na utilização decrescente de combustíveis fósseis, cuja quebra resulta fundamentalmente da substituição do carvão por outras fontes.

A promoção das energias renováveis ajuda a combater as alterações climáticas, adiciona diversidade ao sistema energético e apoia a transição a longo prazo para as energias sustentáveis. Até meados dos anos 1990, os esquemas de suporte às energias renováveis eram conduzidos em grande medida por programas nacionais. Em final dos anos 1990, esses esforços começaram a ser harmonizados ao nível comunitário, tendo-se registado um aumento as energias renováveis no consumo, que passaram para 7% do total, com destaque para a biomassa, que representa quase 70% do total das renováveis. As diferenças entre os Estados-Membros são bastante significativas, registando a Alemanha, França, Itália e Suécia os mais elevados índices de utilização de energias renováveis (EC, 2008).

Tabela 3 – Percentagem das várias fontes de energia renovável na produção comunitária (2000).

UE27	Biomassa	Hídrica	Eólica	Solar	Geotermal
Valor	89.512	26.659	7.074	988	5.576
%	69%	20,5%	5,5%	0,8%	4,3%

Fonte: Eurostat.

Apesar de representarem apenas 7% do total do consumo de energia na UE27 (ver Figura 1), o peso das energias renováveis tem vindo a aumentar de forma sustentada ao longo dos últimos 15 anos no conjunto das fontes primárias de energia no espaço comunitário. Em 1990, eram produzidas 72,71 milhões de toe (o que representava 7,8% do total da energia produzida na UE), tendo em 2006 sido atingido o valor de 127,97 milhões de toe, o que perfaz 14,5% do total (Tabela 4).

Tabela 4 - Principais fontes de energia renováveis (em t de toe).

UE27	1990	%	1995	2000	2005	2006	%
Produção total	936,05		950,18	941,86	900,33	880,43	
Sólidos	366,48	39%	277,81	263,42	196,28	191,45	22%
Petróleo	129,55	14%	171,05	173,01	134,29	122,53	14%
Gás natural	162,45	17%	188,96	207,56	188,68	179,40	20,4%
Nuclear	202,59	22%	223,03	243,76	257,36	255,34	29%
Renováveis	72,71	7,7%	85,20	99,20	120,07	127,97	14,5%

Fonte: Eurostat.

Em 2006, apesar de algumas oscilações, a produção primária de energia na UE a partir de fontes renováveis tinha aumentado 75% quando comparada a 1990. Por país, notam-se algumas diferenças. Até 2004, a França tinha sido o maior produtor primário de energias renováveis, mas em 2005 a Alemanha tomou a liderança, produzindo 17% do total da UE (aumentou quase 40% entre 2004 e 2006). Enquanto a produção francesa se baseia nas fontes hídricas, a Alemanha aposta na energia eólica. Seguem-se a Itália e a Suécia. No seu conjunto, estes quatro países representam mais de 50% da energia primária a partir de fontes renováveis na UE (Eurostat, 2009a).

No que respeita à proporção de energia renovável na energia primária total, por país, destacam-se Portugal, Chipre e Luxemburgo (100%). A parte da energia renovável produzida no consumo total na UE atinge 7% em 2006, ainda longe do Objectivo de 12% até 2010, como definido no *Livro Branco* de 1997 (EC, 2007a).

As principais fontes de energia renovável são a biomassa (principalmente madeira) e os resíduos, que representam 68% do total. Em segundo lugar, vem a energia hídrica, com 21%, enquanto a energia eólica, geotermal e solar representam proporções menos significativas. Refira-se, no entanto, que as energias solar e eólica registaram o mais elevado crescimento desde 2000, duplicando e triplicando, respectivamente (Eurostat, 2009b). Por país, a Suécia, França e Itália são os grandes produtores de energia hídrica, representando metade do total produzido na UE desta fonte; Alemanha e França destacam-se na biomassa, embora a Suécia tenha vindo a crescer de forma muito sustentada.

O notável aumento nas energias renováveis ao longo dos últimos 5 anos corresponde, de alguma forma, à implementação da Directiva Comunitárias sobre Renováveis, em 2001 (EC, 2001). Entre as renováveis, algumas fontes, nomeadamente a eólica, cresceram a taxas bastante elevadas nos anos mais recentes, embora a biomassa e o hidrogénio continuem a dominar de forma esmagadora, representando quase 90% das renováveis em 2006. Nos últimos anos, também se verificou um significativo aumento no uso dos renováveis no sector dos transportes sob a forma de biocombustíveis, embora ainda representem menos de 3% do total de energia consumida pelo sector do transporte rodoviário.

Ao longo da última década, a UE tentou afirmar-se como a economia líder mundial no desenvolvimento e implementação das tecnologias de aproveitamento de energias renováveis; cerca de 1/3 do investimento, estimado, global de 150 mil milhões de USD em eficiência energética e energias renováveis foi feito na UE em 2007 (EREC, 2007). As directivas existentes sobre o assunto definem um alvo de 21% de electricidade gerada em 2010 com origem em fontes de energia renováveis. A recente directiva em 2008 cria uma meta

global de 20% para as energias renováveis em todos os sectores energéticos em 2020, assumindo uma abordagem mais global que integre o sector de produção de electricidade, transportes, aquecimento e arrefecimento (EC, 2007a).

A utilização das energias renováveis tem sido potenciada consideravelmente pela disponibilidade crescente da utilização eficiente de tecnologias para a biomassa, como os fornos residenciais de madeira, assim como a sua utilização em sistemas de calor. A expansão na biomassa, acompanhada pelo declínio na produção de carvão e petróleo na UE são os principais factores por detrás do aumento das energias renováveis, que atingem, 15% na produção primária em 2006 (Eurostat, 2009b).

OS BIOCOMBUSTÍVEIS NA UE

Breve evolução histórica das políticas oficiais

Historicamente, os biocombustíveis já apresentam uma tradição considerável, embora só tenham começado a ser perspectivados com uma importância estratégica, a nível mundial, a partir da década de 1970, por iniciativa brasileira, que definiu uma política activa de apoio ao bioetanol (IEA, 2004). Na Europa, alguns países começaram a interessar-se pelos biocombustíveis na década de 1990, mas a própria UE apenas começou a prestar alguma atenção ao tema em 2001, quando a Comissão conseguiu fazer aprovar, pelo Conselho e pelo Parlamento Europeu a Directiva sobre Biocombustíveis (EC, 2006a) e o artigo 16.º da Directiva sobre a Tributação da Energia. Nessa altura, os biocombustíveis eram um combustível marginal. A sua quota no mercado da UE em 2001 era apenas de 0,3%. Apenas cinco dos então Estados-Membros dispunham de experiência directa significativa com a utilização de biocombustíveis, sendo que para a maioria dos outros os biocombustíveis eram um dado desconhecido (EC, 2006b).

Refira-se que a política da UE para os biocombustíveis constitui parte de um plano de acção mais alargado, que promove o uso crescente das energias renováveis. Para dinamizar a produção de matérias-primas destinadas aos biocombustíveis, a Comissão Europeia introduziu, em 2003, como parte da reforma da PAC, um novo pagamento destinado às denominadas *energy crops*² (45 € por hectare), produzidas em áreas de *set-aside*, ao mesmo tempo que autorizava os estados-membros ao alívio da carga fiscal sobre os biocombustíveis (EBTP, 2008). No entanto, estas medidas não são obrigatórias, já que a política de energia não é verdadeiramente uma política comum. A não-harmonização das políticas ao nível da UE encorajou os estados-membros a agirem como *free riders* e a implementar os seus próprios programas de acção e a definir instrumentos de forma não-coordenada, subordinados aos interesses nacionais. Tal levou, naturalmente, a situações muito heterogéneas, na produção de biocombustíveis, especialmente de primeira geração (Jank *et al*, 2008).

Em termos legislativos, foram aprovadas duas Directivas que fixam alvos para 2010. A Directiva 2001/77/EC (EC, 2001) diz respeito à electricidade produzida a partir de fontes renováveis e pretende atingir uma quota de 21% ao nível dos estados membros, definindo metas individuais para os vários estados membros. A directiva 2003/30/EC (EC, 2003) visa promover a utilização de biocombustíveis no petróleo e gasóleo para automóveis, fixando uma proporção mínima de biocombustíveis e outros combustíveis renováveis para serem utilizados nos mercados nacionais no sector dos transportes. A meta foi fixada em 2%, em 2005, e 5,75%, em 2010. Cada ano, os Estados membros deviam submeter um relatório nacional à Comissão Europeia, em que indicam os progressos realizados até à data (EC 2003).

A Directiva sobre os Biocombustíveis visou promover a utilização de biocombustíveis no seio da UE, de modo a conseguir os objectivos relacionados com o cumprimento dos compromissos relativos às alterações climáticas e a segurança do abastecimento, numa perspectiva sustentada do ponto de vista ambiental. No entanto, embora as outras metas da União relativas a energias renováveis (para a quota global de energias renováveis e para a produção de electricidade) sejam apenas para 2010, a referida Directiva in-

² Culturas agrícolas especialmente dedicadas ao aproveitamento do seu potencial energético.

cluía não só uma meta para 2010 (quota de 5,75% do mercado da gasolina e do gasóleo nos transportes), mas também uma meta intercalar para 2005 (2%) (EC 2003).

A modéstia dos resultados alcançados (ver ponto seguinte) levou o Conselho Europeu da Primavera, em Março de 2006, a definir novos objectivos para resolver as questões relacionadas com a segurança do abastecimento, competitividade e sustentabilidade ambiental. Assim, o Conselho Europeu de Março de 2007 definiu novos objectivos:

- 20% de aumento na eficiência energética.
- 20% da redução nas emissões de GEE.
- 20% de parte das energias renováveis no consumo global de energia na UE, até 2020.
- 10% de componente de biocombustíveis no combustível para transporte até 2010.

Esta chamada de atenção do Conselho originou a adopção em 2007 de novas propostas para a Comissão Europeia para uma política mais ambiciosa e integrada para a Europa de modo a equacionar as questões da mudança climática e da segurança e abastecimento energético (EC, 2007a).

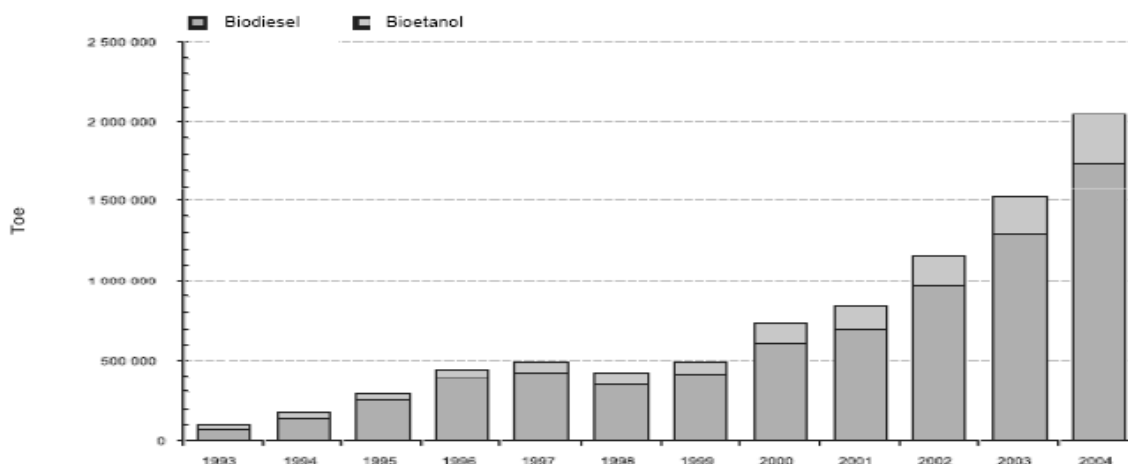
No entanto, estes objectivos globais não podem ser alcançados sem um enquadramento legislativo que assegure a participação equitativa de todos os estados membros. Assim, a Comissão fez uma proposta para uma nova Directiva, estabelecendo metas nacionais vinculativas em termos de energias renováveis.

Os primeiros objectivos dizem respeito à parte da energia com origem em fontes renováveis no consumo final de energia até 2020, estabelecido em 20%. No entanto, enquanto os limites fixados pelas duas directivas anteriores sobre energias renováveis eram definidos ao nível do abastecimento de energia, a nova abordagem foca-se na parte das renováveis no consumo final de energia.

Em Janeiro de 2008, a Comissão Europeia colocou em marcha um ambicioso pacote de propostas para dinamizar a luta da UE contra as alterações climáticas e promover a continuação da utilização das energias renováveis, e em Dezembro do mesmo ano o Parlamento Europeu e o Conselho alcançaram um acordo sobre o Pacote de Clima e Energia. Em resultado, foi aprovada a Directiva sobre Energia Renovável (directiva 2009/28), que entrou em vigor em Junho de 2009, que deverá ser transposta para a legislação nacional até Dezembro de 2010, e que moldará a política de biocombustíveis dos estados membros UE num futuro próximo, recentrando a importância da quota de 10% das energias renováveis nos transportes e introduzindo um conjunto de critérios ambientais e de sustentabilidade, contidos na Directiva sobre a Qualidade do Combustível (Directiva 2009/30) (ERJC, 2008).

A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NA UE: OS CASOS DO BIODIESEL E DO BIOETANOL

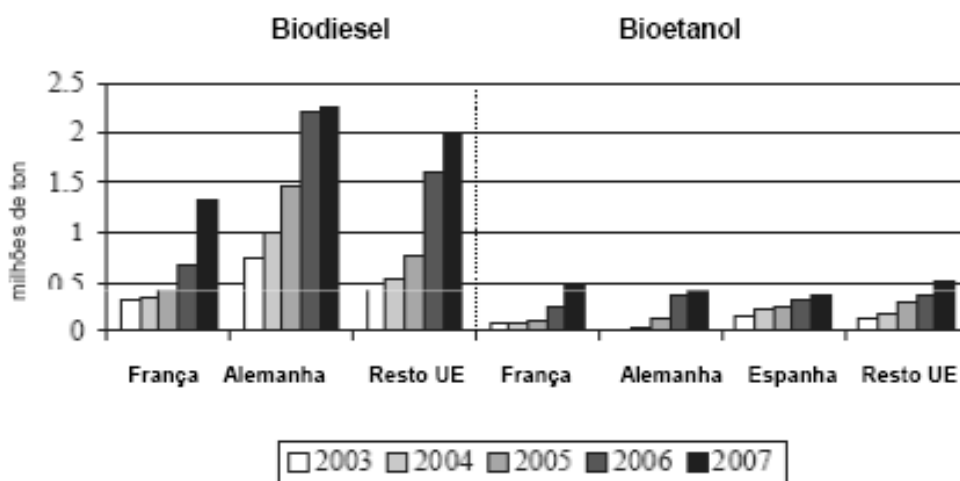
A Figura 4 mostra o crescimento da produção de biocombustíveis na UE desde 1993, onde tem havido, desde essa data, um crescimento sustentado na produção de biocombustíveis líquidos. Em 2004, essa produção atingiu 2040 Ktoe em, ou seja, cerca de 0,7% do total, predominando o biodiesel proveniente do óleo de colza.



Fonte: EC 2006b).

Figura 4 - Evolução da produção de biocombustíveis na UE.

Ao contrário de outros grandes protagonistas dos biocombustíveis, a UE produz mais biodiesel do que bioetanol. Mais de 50% dos combustíveis para transporte consumidos na UE são de base diesel, contra pouco mais de 40% de gasolina. No entanto, esta proporção não está reflectida ao nível da produção de biocombustíveis: o biodiesel representa mais de 80% da produção total de biocombustíveis na UE.



Fonte: Banse *et al* (2008).

Figura 5 - Principais produtores de biodiesel e bioetanol na UE.

Em 2005, os maiores produtores de biodiesel na UE foram a Alemanha (52,4%), a França (15,5%) e a Itália (12,4%). A principal matéria-prima utilizada na produção de biodiesel é o óleo de colza (cerca de 90% da produção total), sendo também utilizados, embora em muito menor escala, os óleos de girassol, palma e soja. Em resultado dos incentivos governamentais, a produção de biodiesel aumentou de forma muito rápida nos últimos 5 anos, passando de mil milhões de litros, em 2000, para 4,45 mil milhões, em 2005. Naturalmente, tal colocou uma pressão acrescida sobre o mercado de óleo de colza, tendo as áreas dedicadas ao cultivo de colza e girassol para produção energética passado de 780.000 para 1634.000 hectares, entre 2004 e 2006, representando agora 22% da área total dedicada a ambas as produções (Jank *et al*, 2007). O problema é que esta expansão está a ocorrer em áreas tradicionalmente dedicadas às colheitas alimentares, realçando a problemática da segurança alimentar *versus* segurança energética.

De acordo com os objectivos definidos pela UE, em termos de política de biodiesel, o consumo dos mesmos deverá atingir 14,4 mil milhões de litros no ano 2012; assumindo que esse biodiesel será produzido com 85% de óleo de colza e 15% com óleo de girassol, a UE deverá utilizar mais de 80% das suas áreas de sementes oleaginosas para produzir as quantidades necessárias de biodiesel até 2012.

Por outro lado, a expansão das áreas de sementes de colza está condicionada pelos limites rotacionais atingidos na maior parte das regiões produtoras. O óleo de girassol deverá ter um maior potencial para a extensão da área, mas a sua produtividade está também limitada pela disponibilidade de água nessas regiões.

As áreas requeridas para atingir o objectivo de 2012 evidenciam que a produção de biodiesel na UE deverá tornar-se insustentável se as importações não aumentarem, o que pode ocorrer, no caso das sementes de óleo de colza ou de girassol, já que a normas técnicas de produção na UE limitam a utilização do óleo de soja e de palma na produção de biodiesel.

No caso do etanol, a situação é consideravelmente diferente. Embora a UE seja o quarto maior produtor de etanol, fica a grande distância do Brasil e dos EUA, os líderes mundiais. Em 2006, a produção de etanol na UE aumentou 71% face a 2005, embora tenha apenas atingido 1,5 mil milhões de litros. Os maiores produtores são a França, a Alemanha e a Espanha, destacando-se também a Suécia, a Itália e a Polónia (Banse *et al*, 2008).

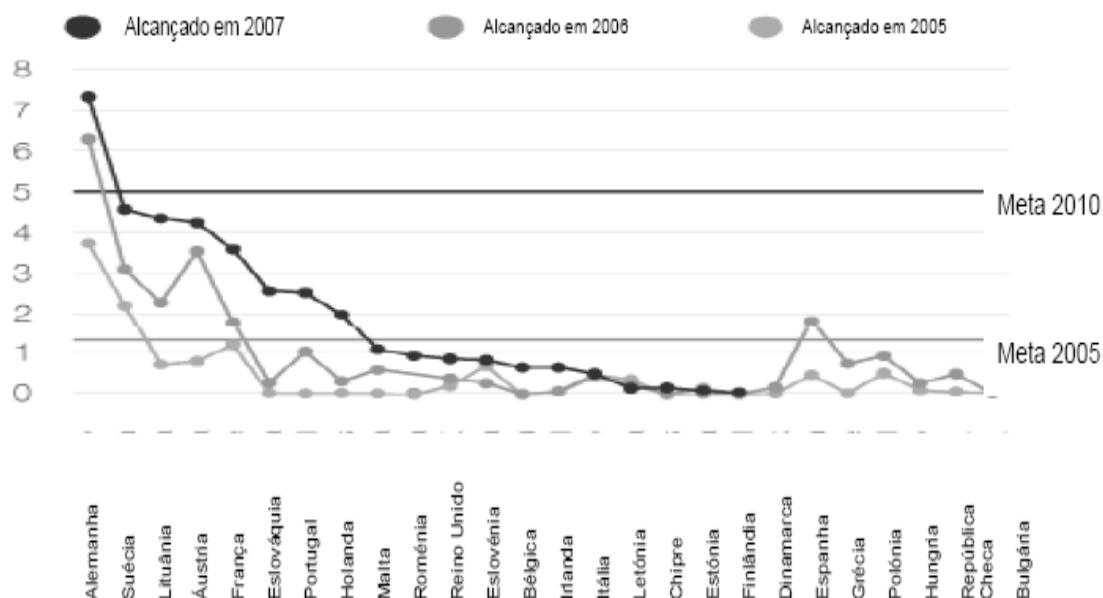
Ao contrário do que acontece no Brasil ou nos EUA, onde o etanol é produzido a partir de uma única fonte (cana de açúcar no Brasil, milho nos EUA), na UE é utilizada uma ampla variedade de matérias-primas para produzir o etanol. Os cereais representam a maior fatia (trigo, milho, cevada e centeio), seguidos pela beterraba sacarina e pela vinha. A beterraba sacarina é a mais eficiente, embora as consequências ambientais sejam mais gravosas neste último caso face aos cereais (Pous, 2009).

Como a produção de etanol é muito mais pequena do que a de biodiesel e como se baseia na utilização de várias fontes, em que a UE é exportadora líquida nalguns casos, o impacto sobre a terra arável é substancialmente menos relevante, assim como sobre o nível de preços das *commodities* envolvidas, fornecendo, inclusivamente, novas oportunidades aos produtores de beterraba, limitados por constrangimentos à produção no âmbito da Política Agrícola Comum (PAC) e da Organização Mundial de Comércio (OMC).

Como muitos dos Estados da UE ainda não começaram a produzir etanol, não é fácil prever qual será a parte de cada fonte na produção de etanol da UE em 2012, embora se estime que o maior potencial de expansão deverá assentar no trigo, na beterraba sacarina e no milho (FAO, 2008).

O biodiesel e o etanol são geralmente misturados com diesel ou gasolina, respectivamente, em pequenas proporções, mas misturas com elevadas proporções (por exemplo, o etanol utilizado para veículos adaptados, *Flexifuel*) e formas puras estão disponíveis noutros países. Outros combustíveis de transporte estão a ser desenvolvidos em pequeno volume, como o biogás na Suécia ou o óleo vegetal puro na Alemanha.

Apesar do crescimento significativo, o valor de referência para 2005 (2%) não foi atingido, e existem variações substanciais entre os estados membros. Se estes últimos atingissem os alvos que definiram, os biocombustíveis deveriam atingir uma quota de 1,4%. A figura abaixo reproduzida evidencia que a política de biocombustíveis da UE não constitui, propriamente, uma história de sucesso. Apenas 2 estados, em 25 (ainda antes da adesão da Bulgária e da Roménia, que só ocorreu em 2007), concretamente a Alemanha e a Suécia, conseguiram alcançar a meta de 2005, pelo que é praticamente impossível que a maior parte dos estados consiga chegar ao patamar previsto para 2010 (ERJC, 2008).



Fonte: ERJC 2008.

Figura 6 - Performance dos estados membros face às metas definidas.

Conforme apresentado na Tabela 5, em 2005 os biocombustíveis, embora utilizados em grande parte dos Estados – Membros, a quota de mercado global não deverá ter ultrapassado 1% (80% de biodiesel e 20% de etanol), consideravelmente abaixo da quota de 1,4% prevista. Além disso, os progressos foram muito heterogêneos. O valor de referência só foi atingido pela Alemanha (3,8%) e pela Suécia (2,2%).

Enquanto o sucesso da Alemanha assentou principalmente no biodiesel, a Suécia concentrou a sua atenção no etanol. No entanto, quanto a outros aspectos, as suas políticas apresentam vários factores comuns. Ambos os países têm desenvolvido actividades neste domínio há vários anos promovendo não só misturas com elevado teor de biocombustíveis ou biocombustíveis puros (que dão visibilidade à política) como também misturas com baixo teor de biocombustíveis compatíveis com os motores e modalidades de distribuição existentes (que maximizam o alcance da política). Ambos concederam isenções fiscais aos biocombustíveis, sem limitação da quantidade elegível e combinaram a produção interna com as importações (do Brasil no caso da Suécia, de outros Estados-Membros no caso da Alemanha). Ambos estão a investir em Investigação e Desenvolvimento Tecnológico (IDT) no domínio dos biocombustíveis e têm tratado os biocombustíveis de primeira geração como uma ponte para a segunda geração (EBTP, 2008).

Convém referir que desde o início de 2005, 13 Estados-Membros receberam aprovação para auxílios estatais relativos a novas isenções fiscais aplicáveis aos biocombustíveis, e pelo menos oito Estados-Membros impuseram obrigações sobre a utilização dos biocombustíveis ou anunciaram planos nesse sentido.

Em relação a 2010, 19 Estados-Membros já fixaram metas para 2010. Se todos atingirem as quotas que definiram, a quota de biocombustíveis nesses Estados-Membros atingirá os 5,45% - menos 0,3% do que o objectivo definido. A experiência de 2005 sugere que, na prática, a diferença será bastante superior. Em 2005, entre os 21 Estados-Membros que tinham dados disponíveis, apenas dois atingiram as metas a que se tinham proposto. Em média, cada Estado-Membro conseguiu apenas chegar a 52% da sua meta. Mesmo que a diferença seja apenas de metade disso em 2010, a União atingiria apenas uma quota de biocombustíveis de 4,2% em 2010 (EBTP, 2008).

Tabela 5 - Progressos na utilização de biocombustíveis, 2003-2005.

Estado-Membro	% em 2003	% em 2005	Meta para 2005
UE27	0,5	1	1,4
Áustria	0,06	0,93	2,5
República Checa	1,09	0,05	3,7
Finlândia	0,11	n.d.	0,1
França	0,67	0,97	2
Alemanha	1,21	3,75	2
Irlanda	0,0	0,05	0,06
Itália	0,5	0,51	1
Letónia	0,22	0,33	2
Holanda	0,03	0,02	2
Polónia	0,49	0,48	0,5
Espanha	0,35	0,44	2
Suécia	1,32	2,23	3
Reino Unido	0,026	0,18	0,19

Fonte: Relatórios nacionais para cumprimento da Directiva dos Biocombustíveis.

Como referido nos documentos oficiais, a UE considera que os biocombustíveis têm um papel único a desempenhar na política energética europeia, pois constituem actualmente o único substituto directo do petróleo para os transportes disponível a uma escala significativa³. A alteração do cabaz de combustíveis nos transportes é importante, dado que o sistema de transportes da UE está quase inteiramente dependente do petróleo e, como vimos, a maior parte do petróleo importado pela UE provém de regiões politicamente instáveis do mundo, pelo que colocar um sério desafio para a segurança do aprovisionamento da Europa. O sector dos transportes na UE representa mais de 30% do consumo total de energia, sendo dependente em 98% dos combustíveis fósseis. O crescimento do sector dos transportes é considerado uma das principais razões pelas quais a UE não conseguiu cumprir as metas de *Kyoto*, e é expectável que 90% do aumento das emissões de CO₂ sejam atribuídas ao sector dos transportes (EC, 2006a; EC 2008).

Potencialidades e vulnerabilidades da produção de biocombustíveis na Europa

O FACTOR TECNOLÓGICO: OS BIOCOMBUSTÍVEIS DE SEGUNDA GERAÇÃO

Existem vários factores que justificam algum optimismo face ao desenvolvimento da utilização dos biocombustíveis na Europa. Em primeiro lugar, a disponibilidade de recursos, nomeadamente a biomassa. Os recursos da biomassa compreendem aqueles baseados na agricultura e florestas, e outras fontes derivadas das indústrias madeireiras e agroalimentares, resíduos de construção e demolição e lixos sólidos municipais (EJRC, 2008).

Por outro lado, existe na UE um manancial de conhecimento científico que permite a utilização de tecnologias inovadoras, que permitam, entre outros, a conversão da biomassa em biocombustíveis. Efectivamente, existe um conhecimento profundo na Europa nesta área, quer para sistemas bioquímicos, quer termoquímicos. As duas vias utilizadas na Europa em grande escala são: 1) a produção de etanol a partir

³ Outras tecnologias, como o hidrogénio, apresentam um enorme potencial. Contudo, estão longe da fase de viabilidade em larga escala e exigirão alterações importantes nos parques automóveis e no sistema de distribuição de combustíveis.

de colheitas de açúcar ou colheitas de grão; 2) a produção de biodiesel a partir de sementes de oleaginosas (colza, girassol, soja), convertidos em ácidos metílicos (IFP, 2007a).

Uma outra forma passa pela utilização de óleos vegetais pressados, que já foi testado em frotas de veículos. A conversão de óleo de origem biológica (plantas, animais) através da esterificação do metanol resulta num combustível largamente aceite pelos construtores de motores a diesel. A produção de biogás é uma terceira alternativa possível, podendo ser produzida em instalações próprias ou recuperada dos aterros dos lixos sólidos municipais. A recuperação do biogás é importante, não apenas como recurso, mas também para evitar a descarga de um GEE na atmosfera (ERJC, 2008).

Tabela 6 - Biocombustíveis de primeira e segunda geração.

Biocombustíveis de 1ª Geração		
Tipo de biocombustível	Origem da biomassa	Processo de produção
Bioetanol	Açúcar de beterraba; cereais	Hidrólise e fermentação
Óleo vegetal	Sementes (colza)	Pressagem a frio/extracção
Biodiesel	Sementes (colza)	Pressagem a frio/transesterificação
Biodiesel	Resíduos/óleos cozinha/gordura animal	Transesterificação
Biogás	Biomassa húmida	Digestão
Bio ETE	Bioetanol	Síntese química
Biocombustíveis de 2ª Geração		
Bioetanol	Material linhocelulósico	Hidrólise avançada e fermentação
Biocombustíveis sintéticos	Material linhocelulósico	Gasificação e síntese
Biodiesel	Óleos vegetais e gordura animal	Hidrotratamento
Biogás	Material linhocelulósico	Gasificação e síntese
Biohidrogéneo	Material linhocelulósico	Gasificação e síntese ou processos biológicos

De acordo com o estudo referido (ERJC, 2008), os combustíveis hidrocarbonetos líquidos irão dominar o mercado em 2030, e o diesel irá aumentar a sua proporção em detrimento da gasolina. Em resultado, deverá verificar-se um défice de diesel produzido face à procura, e uma sobrecapacidade de produção de gasolina na Europa. Este desequilíbrio constitui um risco para a segurança no abastecimento da Europa, mas apresenta uma óptima oportunidade para a indústria europeia de biodiesel.

De toda a maneira, a penetração em larga escala de biocombustíveis só será possível se existirem tecnologias que possam ser rentabilizadas. No futuro, os biocombustíveis poderão ser misturados com gasolina, diesel ou gás natural ou como produtos puros. Naturalmente, também se espera que venha a apertar a legislação relativa à emissão de GEE para a atmosfera.

A passagem dos biocombustíveis de primeira para a segunda geração poderá ter efeitos significativos do ponto de vista ambiental, reduzindo a fracção de GEE. O desafio passa por aumentar substancialmente a produção de biocombustíveis utilizando tecnologias que sejam em simultâneo competitivas e sustentáveis. Para atingir tal desiderato, será necessário, ao mesmo tempo que se reforça a implementação de biocombustíveis actualmente disponíveis, de promover a transição em direcção à segunda geração de biocombustíveis (ERJC, 2008).

De acordo com vários estudos, os combustíveis derivados da biomassa evidenciam um elevado potencial para reduzir os GEE, e constituem assim um meio importante para conseguir atingir as metas do transporte rodoviário para a emissão de CO₂. Podem ser uma fonte energética fiável para reduzir a dependência das importações, já que a biomassa na produção de electricidade detém os maiores benefícios em termos de emissão de GEE e fornece o aquecimento mais barato. De acordo com a Comissão Europeia (EC, 2008),

a utilização da biomassa deveria ser promovida nos três sectores, já que até 2010 não deverá haver grande concorrência por matérias-primas: os biocombustíveis dependem basicamente das colheitas agrícolas, enquanto a electricidade e o aquecimento dependem da madeira e dos resíduos. No que respeita, às denominadas *'energy crops'*, estas poderão constituir uma solução promissora para assegurar o abastecimento da produção de biocombustíveis. Por toda a Europa, existem culturas dedicadas para a produção de biocombustíveis, e já existem em vários países europeus (Alemanha, França, Reino Unido, Suécia) colheitas especificamente dedicadas para tal, que gozam de apoios políticos e financeiros, para a produção de biodiesel, aquecimento e geração de electricidade (EC 2008).

Tomando em consideração os actuais sistemas agrícolas da UE, assim como o respectivo enquadramento legislativo e político, na UE e nos estados membros, as *'energy crops'* deverão ver o seu papel substancialmente reforçado como futuros recursos de biocombustível, evoluindo dos óleos e do açúcar de primeira geração para as colheitas linhocelulósicas de segunda geração (ERJC, 2008).

Finalmente, a UE revela uma grande vantagem competitiva traduzida na existência de capital humano e infraestruturas de pesquisa, que permitem desenvolver uma frutuosa produção de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico (IDT), beneficiando igualmente de uma forte ligação entre a investigação e o mundo empresarial. A UE tem demonstrado, igualmente, o seu potencial para desenvolver parcerias estratégicas, apoiadas, também, na disponibilidade de financiamento, ao abrigo do 7^o Programa-Quadro. Os biocombustíveis representam actualmente uma das mais poderosas alternativas para a redução das emissões de CO₂ provocadas pelo sector dos transportes, assim como representam uma alternativa às práticas tradicionais da PAC, de colocar em regime de *set aside* as terras aráveis. Existe, aparentemente, vontade política e procura de mercado para assegurar uma produção sustentada, funcionando igualmente como factor de dinamismo na criação de emprego (EBTP, 2008).

Existem, no entanto, alguns pontos fracos, já que a produção de biocombustíveis é uma actividade transsectorial, abrangendo os sectores do transporte, agricultura, ambiente, energia, o que dificulta a articulação e a consistência na definição das políticas mais adequadas.

Por outro lado, a produção de biocombustíveis reside numa complexa teia de produtos e processos, com destaque para a operação de assegurar a disponibilidade das matérias-primas essenciais à produção, pelo que se pode gerar uma escalada de concorrência com o sector da produção de alimentos e prejudicar a competitividade internacional da UE (ETP, 2008).

O grande problema é que a produção de biocombustíveis em grande escala, necessária para atingir os objectivos definidos pelas instituições comunitárias, não é totalmente sustentável, dada a escassez de matéria-prima e os elevados custos de produção, o que requer um fortíssimo apoio público, sob pena de não ser bem sucedida (FAO, 2008). No caso da UE, a paisagem agrícola é dominada por cereais de grão pequeno (trigo, cevada, arroz, centeio), cobrindo cerca de 40% da área arável total. Em consequência, os cereais constituem a principal fonte de resíduos, mas em concorrência directa com a alimentação dos animais.

O solo em condições de produzir culturas ou florestas a um ritmo suficiente para produzir a biomassa necessária para os biocombustíveis, a preços economicamente viáveis, é consideravelmente limitado no contexto europeu, e mundial. A subida do preço das *commodities* e produtos florestais, em 2006 e 2007 (FAO, 2008), devido à forte procura global, foi parcialmente atribuída a uma crescente competição para os seus diferentes usos, como a alimentação, produção pecuária e fins energéticos, pelo que uma crescente pressão sobre a produção de biocombustíveis irá exigir uma melhor produtividade por hectare de terra agrícola ou florestal e o desenvolvimento de novas sementes, mais produtivas, ou seja, uma nova Revolução Verde, mas agora com finalidades energéticas! Sem estar assegurada a sustentabilidade, a pressão sobre a produção de biocombustíveis poderá gerar fenómenos perversos como a desflorestação, a destruição de ecossistemas e a perda de biodiversidade (WB, 2008; WB, 2010). Finalmente, a questão tecnológica é também fundamental, já que a adopção de processos tecnológicos menos adequados poderá levar, inclusivamente, a danos ambientais (IFP, 2007b).

O (NÃO) DILEMA SEGURANÇA ALIMENTAR/SEGURANÇA ENERGÉTICA

A expansão na produção mundial de biocombustíveis, especialmente o biodiesel, constitui, actualmente, um dos temas mais polémicos na agenda das discussões sobre agricultura e segurança alimentar. Por um lado, o desenvolvimento da produção agrícola induzida pela necessidade de obter matéria-prima para os biocombustíveis constitui uma fonte adicional de rendimento para os agricultores, principalmente nos países em desenvolvimento, que atenua a quebra verificada nos mercados de produtos agro-alimentares saturados. Por outro lado, existe uma crescente preocupação de que o nível e a volatilidade dos preços das *commodities* agrícolas venha a aumentar ainda mais, à medida que os preços do petróleo continuam a subir nos mercados internacionais e os biocombustíveis revelam uma crescente competitividade (WB, 2010).

O aumento da produção de biocombustíveis pode suscitar conflitos com a produção de bens alimentares, já que a primeira geração de biocombustíveis assenta nas mesmas plantas adequadas à alimentação humana. Organizações como a FAO (2008) já publicaram estudos em que concluem que a crescente procura de biocombustíveis contribui para a subida do preço dos bens alimentares, assim como poderá levar a uma escassez na produção dos mesmos bens, à medida que se verifica uma reafecção de áreas agrícolas à produção dos biocombustíveis (Azevedo, 2008).

No entanto, como menos de 2% da superfície arável global está a ser afectada à produção de biocombustíveis, o aumento do preço dos bens alimentares não constitui, naturalmente, o único factor na origem da subida dos preços daqueles, juntando-se outros como a especulação nos mercados de futuros ou as persistentes, e por vezes nefastas, inovações financeiras (WB, 2010).

No caso europeu, actualmente, a UE está a utilizar pouco mais de 40% da sua produção de colza e 62% da sua produção de óleo de colza para a indústria do biodiesel. A pressão deriva, fundamentalmente, da baixa produtividade deste tipo de matéria em termos de litros de biodiesel por há. A procura crescente pelo óleo de colza também tem um forte impacto sobre os preços, como se pode ver na figura abaixo reproduzida, que mostra a evolução dos preços do óleo de colza e a expansão do mesmo como matéria-prima na produção de biodiesel na UE. Entre 2002 e 2003 e 2006-2007, os preços subiram mais de 60% (Jank *et al*, 2008).

Estes fenómenos têm, naturalmente, consequências importantes na indústria agroalimentar que utiliza esse *input* para produção de óleo engarrafado, margarina e pastelaria. Tais aspectos acabaram por se reflectir na procura e importação de outros óleos vegetais, que, entre 2003 e 2006, aumentaram mais de 50%, com destaque para o óleo de palma, com origem na Indonésia e Malásia, os maiores fornecedores do mercado da UE.

De acordo com os objectivos definidos pela UE, em termos de política de biodiesel, o consumo dos mesmos deverá atingir 14,4 mil milhões de litros no ano 2012; assumindo que esse biodiesel será produzido com 85% de óleo de colza e 15% de óleo de girassol, a UE deverá utilizar mais de 80% das suas áreas de sementes oleaginosas para produzir as quantidades necessárias de biodiesel até 2012. Tal implicaria que a UE deverá importar cerca de 86% das mesmas sementes para fins alimentares, contra 50% em 2006 (Jank *et al*, 2008).

As áreas requeridas para atingir o objectivo de 2012 evidenciam que a produção de biodiesel na UE deverá tornar-se insustentável se as importações não aumentarem, o que se pode ocorrer, por seu lado, no caso das sementes de óleo de colza ou de girassol, já que a normas técnicas de produção na UE limitam a utilização do óleo de soja e de palma na produção de biodiesel (Banse *et al*, 2008).

A grande questão é que o impacto do crescente consumo de biodiesel não se fará sentir unicamente sobre as importações de óleos vegetais para esse propósito, mas deverá também subir para preencher as necessidades alimentares, dado o desvio da produção para a produção de combustíveis, com ênfase, aqui sim, nas importações de óleos de palma, soja e girassol, que deverão duplicar.

No que respeita ao etanol, a situação é, relativamente, menos complexa, pelo menos no que respeita à sustentabilidade da produção. Estudos desenvolvidos (Jank *et al*, 2008; EBTP, 2008) evidenciam que entre 2006 e 2012 deverá verificar-se a seguinte evolução: o crescente uso do trigo, milho e beterraba sacarina é compatível com os recursos disponíveis. O trigo utilizado para produção do etanol representará apenas 8,2% da produção total de trigo na UE; no caso do milho, a percentagem cifra-se em 6,1%. O caso mais problemático seria potencialmente a beterraba, que deverá representar quase 30% da produção de etanol, mas, dadas as circunstâncias acima referidas, também não deverá representar uma pressão acrescida (Jank *et al*, 2008).

Em suma, os cenários e estimativas apresentadas não revelam, à partida, nenhum impacto particularmente significativo do desenvolvimento do etanol nos mercados agrícolas da UE e evidenciam, na perspectiva da produção agrícola, que a UE não deverá precisar de importar etanol.

AS POLÍTICAS DA UE FACE A TERCEIROS PAÍSES: OS OBSTÁCULOS TARIFÁRIOS E O IMPACTO DOS SUBSÍDIOS

Uma outra questão polémica passa pelo impacto das opções tomadas pela UE em matéria de biocombustíveis sobre as relações do bloco com países terceiros.

É um facto que muitos países em desenvolvimento que se envolveram na produção de biocombustíveis podem efectivamente deter uma vantagem comparativa na produção de biocombustíveis, não apenas em termos de custos de produção, mas porque o etanol proveniente da cana-de-açúcar tem um balanço energético e ambiental mais positivo do que o etanol obtido através de cereais. Para além disso, o biodiesel obtido a partir do óleo de palma é muito mais energético do que aquele produzido com óleo de colza. Todos estes factores apontam para a expansão das exportações dos países em desenvolvimento para os países mais ricos. No entanto, as políticas aplicadas pelos maiores consumidores de biocombustíveis do planeta reduzem seriamente aquela capacidade. Efectivamente, a UE e os EUA têm vindo a proteger a sua produção natural através de uma panóplia de medidas de política comercial, com destaque para as tarifas e os subsídios, mas com recurso igualmente às normas técnicas (EC 2008; WB 2010).

O mercado doméstico de etanol da UE é protegido essencialmente por tarifas. As importações de etanol são, geralmente, realizadas no âmbito da Cláusula da Nação Mais Favorecida, mas alguns países beneficiam de um tratamento preferencial quando exportam para o mercado da UE. É o caso do etanol produzido nos países de África, Caraíbas e Pacífico (ACP), nos países menos desenvolvidos e nos países do *SPG+*⁴, os países dos andes ou da América Central ou os países dos Balcãs, cujas exportações para a UE estão isentas de protecção tarifária. Os principais exportadores de açúcar, como o Brasil ou a Tailândia que são ou poderiam ser exportadores significativos de etanol, não beneficiam de nenhuma preferência, assim como o México ou a África do Sul, dois países que assinaram acordos de comércio livre com a União.

Refira-se, porém, que as tarifas da UE para o biodiesel e para a sua matéria-prima são reduzidas, sendo 6,5% no caso do biodiesel, enquanto os óleos vegetais estão sujeitos a uma tarifa média entre 3,2 e 1,5%. As tarifas aplicadas aos óleos vegetais para consumo humano são mais elevadas, mas não excedem 9%. Os países em desenvolvimento que exportam óleos vegetais para a UE enfrentam as tarifas preferenciais ao abrigo do *SPG+*: as tarifas sobre as importações de óleo de palma provenientes da Indonésia e Malásia oscilam entre 0 e 3,1%. As sementes de colza, girassol e soja dos maiores exportadores mundiais (Argentina, Brasil, Rússia e Ucrânia) enfrentam tarifas preferenciais em crescendo entre 0 e 6% (Jank *et al*, 2006).

Uma outra questão polémica passa pela concessão de subsídios. A produção de biocombustíveis na UE e nos EUA é fortemente subsidiada porque os custos de produção do biodiesel são muito mais elevados do que os dos combustíveis fósseis. Ambos os blocos proporcionam dois tipos principais de subsídios para

⁴ A sigla *SPG+* refere-se aos países em desenvolvimento que beneficiam do Sistema de Preferências Generalizadas (SPG) da UE, ao abrigo do qual podem exportar vários produtos para o mercado interno com isenções ou reduções tarifárias, e que se considera prosseguirem as condições económicas e políticas para um desenvolvimento sustentável.

apoiar a indústria do biodiesel e incentivar o consumo: isenções fiscais sobre o biodiesel e subsídios aos produtores agrícolas.

Como a política fiscal não é uma política comum, cada estado membro da UE decide sobre o nível de taxa que considera adequado para o fósil e para o biodiesel: a título de exemplo refira-se que a Espanha e a Suécia não aplicam impostos específicos sobre os biocombustíveis; a Alemanha taxa o excesso de produção face à quota definida e alguns países apenas concedem facilidades fiscais para quantidades restritas de biocombustíveis.

As sementes para a produção de biodiesel também recebem apoio. A reforma da PAC de 2003 introduziu um novo pagamento denominado *Energy Crop Payment*, que ascende a 45 euros por hectare, e se destina a promover o crescimento de matérias-primas nas áreas tradicionalmente destinadas à produção de bens alimentares, beneficiando da protecção concedida àquelas últimas. De acordo com vários autores, a reforma da PAC alterou substancialmente as modalidades do apoio agrícola, mas teve pouco impacto a nível dos subsídios (Banse *et al*, 2008; Pous, 2009).

Embora o comércio internacional em biocombustíveis seja actualmente muito limitado, a evidência empírica sugere que o fluxo de biocombustíveis deverá aumentar nos próximos anos, à medida que os países se empenharem progressivamente na diversificação das fontes energéticas. Por um lado, a procura de biocombustíveis deverá crescer significativamente nos países desenvolvidos que queiram limitar o seu consumo de combustíveis fósseis. No entanto, a disponibilidade limitada de superfícies agrícolas poderá restringir o aumento potencial de matéria-prima para a produção de biocombustíveis. Para além disso, a eficiência-custo e o impacto ambiental dos biocombustíveis produzidos nos países desenvolvidos são bastante negativos. Por outro lado, os países em desenvolvimento, nas regiões tropical e sub-tropical, detêm uma vantagem comparativa real na produção das matérias para os biocombustíveis, como a cana-de-açúcar ou o óleo de palma, que conseguem produzir a custos mais baixos e de que dispõem em maiores quantidades (Jank *et al*, 2008; WB, 2010).

Perspectivas para o desenvolvimento dos biocombustíveis na UE

De acordo com vários estudos e cenários, a dependência energética da UE deverá aumentar de forma sustentada nos anos mais próximos. Em 2030, a UE importará quase 70% das suas necessidades energéticas (contra 44% em 1990), sendo essa dependência particularmente significativa nos casos do petróleo (95%) e do gás natural (84%). Nesse contexto, as instituições europeias e os governos dos estados membros irão, certamente, envidar esforços no sentido de encontrar alternativas eficientes e sustentáveis, do ponto de vista tecnológico, económico e ambiental. Naturalmente, a opção pelos biocombustíveis, particularmente no sector dos transportes, será um dos eixos de actuação (EC, 2006b).

Estima-se que até 2030, cerca de ¼ das necessidades de transporte na UE deverão ser preenchidas por biocombustíveis limpos e eficientes do ponto de vista da emissão de CO₂. Para que tal aconteça é necessário, de acordo com o Relatório de Peritos sobre a Pesquisa em Biocombustíveis (EBTP, 2008), que:

- sejam seleccionados os biocombustíveis os mais competitivos e inovadores, nomeadamente os de 2ª Geração, pelo que se impõe o desenvolvimento de tecnologias e infraestruturas físicas e humanas adequadas; por outro lado, para biocombustíveis convencionais, é necessário um maior progresso para equilibrar a energia/carbono das tecnologias existentes, particularmente através de processos de conversão de biomassa mais avançados.
- crescimento esperado dos biocombustíveis requer o desenvolvimento de novas tecnologias, pelo que as biorefinarias serão caracterizadas pela integração eficiente dos vários passos, da manutenção ao processamento da biomassa, fermentação/gaseificação dos bioreactores, entre outros.

- para o fornecimento de reservas de biomassa devem ser implementadas estratégias sustentáveis de exploração dos solos, compatíveis com as condições climáticas, ambientais e sócio-económicas prevalentes em cada região.
- s biocombustíveis e as suas matérias-primas são transaccionados nos mercados mundiais, pelo que a UE deverá prosseguir uma estratégia de integração nos mercados internacionais, por exemplo, exportando tecnologia dos biocombustíveis para os países que exportam biocombustíveis para a UE ajudar a conquistar e manter uma posição competitiva a nível global.
- será desejável uma frutuosa cooperação entre os principais actores europeus, para dinamizar programas de investigação conjuntos. Deverá ser estabelecida uma Plataforma Europeia de Tecnologia para Biocombustíveis, incluindo biocombustíveis para transporte aéreo, marítimo e rodoviário, devendo melhorar a competitividade das tecnologias de primeira geração de biocombustíveis e promover a transição para a segunda geração. Esta Plataforma deverá estabelecer laços com outras plataformas relevantes (transporte rodoviário, biotecnologia verde, biotecnologia industrial) europeias, assim como com plataformas nacionais e outras iniciativas de IDT nos Estados membros.

Para conseguir cumprir estes requisitos, impõe-se uma condição infra-estrutural: a UE deverá apoiar os biocombustíveis com diversas medidas de política económica, harmonizadas, e articuladas com os serviços da Comissão, na área da Investigação e Desenvolvimento, energia e transporte, agricultura, comércio externo, ambiente, entre outros, numa abordagem transversal e integrada.

Nota final

A aposta no desenvolvimento da produção de biocombustíveis constitui, provavelmente, uma das mais controversas em discussão nos fora internacionais, e um consenso entre as várias posições em confronto não se afigura próximo, dada a delicadeza dos temas em confronto, com destaque para a segurança alimentar e as questões ambientais. Naturalmente, a UE, como principal bloco económico e comercial do mundo desempenha um papel chave nesse contexto, já que as decisões que tomar em tal matéria poderão condicionar a evolução da discussão mundial.


O aumento dramático nos preços dos *inputs* energéticos, as tensões geopolíticas nalgumas regiões produtoras e exportadoras de petróleo e a incerteza que rodeia a disponibilidade futura e o acesso a recursos não-renováveis despertaram um forte interesse a nível mundial pela produção de biocombustíveis, como alternativa aos combustíveis fósseis. Tal pode ser testemunhado não apenas no Brasil, pioneiro mundial na produção competitiva de etanol, mas também nos EUA e na UE, assim como em vários países em desenvolvimento


























No caso da UE, a perspectiva de ver agravada a sua dependência das importações das principais fontes de energia não renováveis levou-a a desenvolver um extenso e ambicioso programa de produção de energias renováveis, com particular ênfase nos biocombustíveis, particularmente no sector dos transportes, principal responsável pela emissão de GEE. Os resultados alcançados até à data evidenciam, para além de uma significativa disparidade entre os Estados Membros no cumprimento das metas propostas, que os esforços a desenvolver pela UE até 2020 não deverão implicar consequências significativas sobre a segurança alimentar mundial ou sobre as alterações climáticas, desde que seja prosseguido um ambicioso programa de inovação tecnológica, uma eficácia plena das políticas comunitárias no domínio em causa, incluindo as políticas comerciais e o relacionamento com terceiros países.

Referências bibliográficas

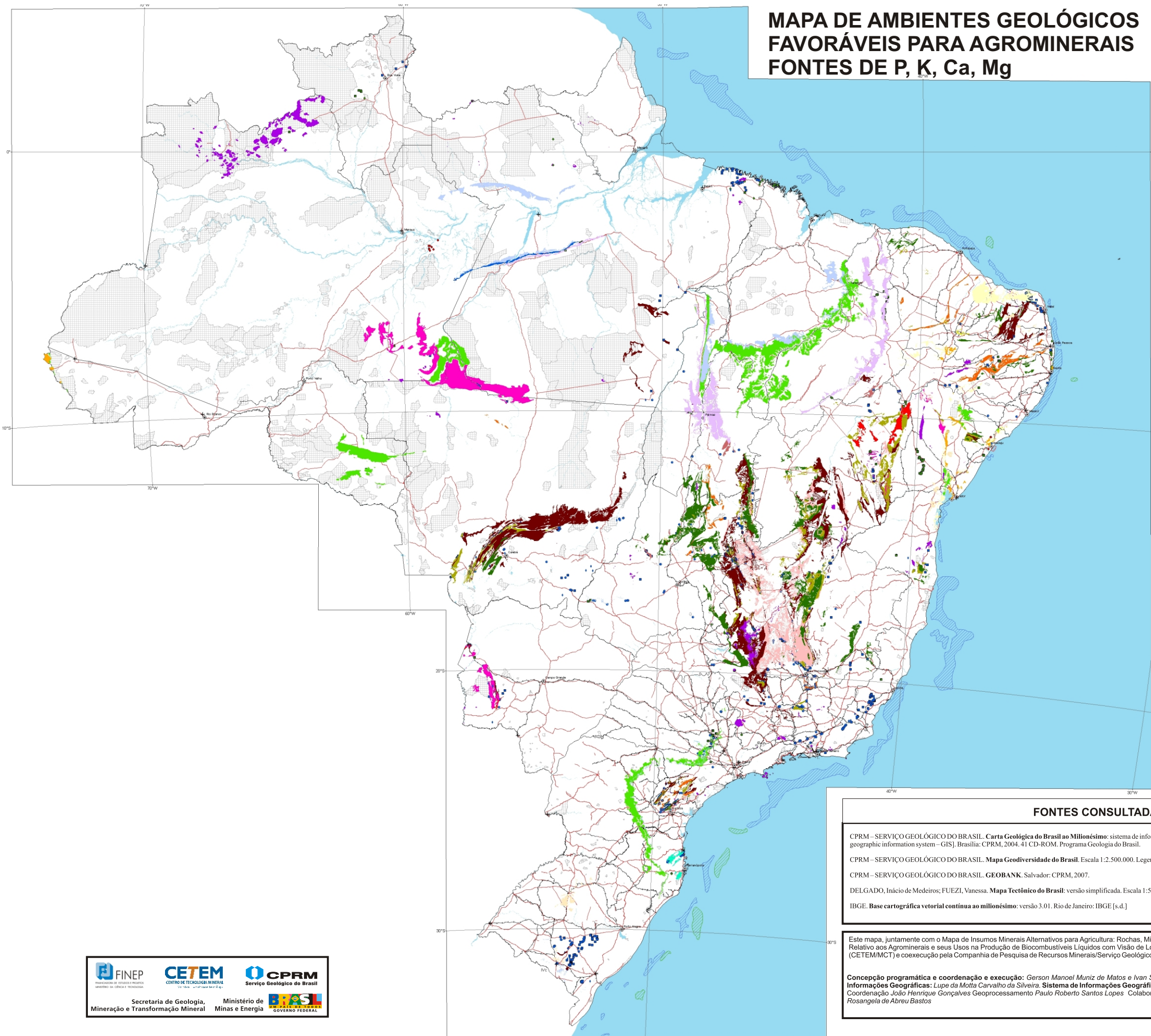
- ADAMS, F. (2009), *Will Economic Recovery Drive Up World Oil Prices?*; World Economics, vol. 10, Nº2, Abril – Junho 2009.
- AZEVEDO, F. (2008), *Energia Versus Alimentos*; Cenários e Tendências; nº10 Junho 2008; Departamento de Prospectiva e Planeamento (DPP); Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional, Lisboa.
- BANSE, M. et al (2008), *Consequences of Biofuel Policies on Agricultural Production and Land Use; Choices*; AAEA – Agricultural and Applied Economics Association. www.choicesmagazine.org/magazine/article.php?article=41
- EBTP (2008), *Strategic Research Agenda and Strategy Deployment Document* – European Biofuels Technology Platform (EBTP). <http://cordis.europa.eu/technology-platforms/pdf/biofuels.pdf>
- EC (2003), *On the Promotion of the Use of Biofuels on the Renewable Fuels for Transport*; OJ. L 123, May 2003. European Commission, Brussels.<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:123:0042:0042:EN:PDF>
- EC (2006a), *An EU Strategy for Biofuels* – Communication from the Commission; COM (2006) 34 Final; Brussels.http://ec.europa.eu/development/icenter/repository/biofuels_2006_02_08_comm_eu_strategy_en.pdf
- EC (2007a), *An Energy Policy for Europe*, Communication from the Commission to the European Council and the European Parliament; COM (2007) 1 Final.http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/01_energy_policy_for_europe_en.pdf
- EC (2007b), *European Energy and Transport – Trends 2030 – Update 2007*; http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/figures/trends_2030_update_2007/energy_transport_trends_2030_update_2007_en.pdf
- EC (2006b), *Biofuels in the EU – A Vision for 2030 and Beyond*, Final Draft Report of the Biofuels Research Advisory Council (BRRAC); European Commission (EC).http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/draft_vision_report_en.pdf
- EC (2001), *Promoção de Electricidade Produzida a Partir de Fontes de Energia Renováveis no Mercado Interno da Electricidade*; Directiva 2001/77/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, 27 de Setembro de 2001. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2001:283:0033:0040:PT:PDF>
- EC (2008), *Europe's Climate Change Opportunity*; Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the EESC and the CR; Com (2008), 30 Final. Brussels.http://www.energy.eu/directives/com2008_0030en01.pdf
- EJRC (2008), *Biofuels in the European Context: Facts and Uncertainties*; European Joint Research Centre (EJRC). http://ec.europa.eu/dgs/jrc/downloads/jrc_biofuels_report.pdf
- EREC (2007), *Renewable Energy Target for Europe – 20% by 2020*; European Renewable Energy Council http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Documents/Publications/EREC_Targets_2020_def.pdf
- IEA, (2004), *Biofuels for Transport – An International Perspective*; International Energy Agency. <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf>
- IFP (2007a), *Biofuels in Europe*; IFP – Innovation, Énergie, Environment. http://www.ifp.fr/IFP/em/events/Panorama/IFP_Panorama_07_06_biocarburant_Europe_VA.pdf
- IFP (2007b), *Biofuels and their Environmental Performance*; IFP – Innovation, Énergie, Environment. http://www.ifp.fr/IFP/en/events/Panorama/IFP_Panorama_07_09_biocarburant_bilan_environmental_VA.pdf

- Eurostat (2009a), *Energy and Transport in Figures*; Eurostat Statistical Pocketbooks.EC – Directorate General for Energy and Transport.http://ec.europa.eu/transport/publications/statistics/doc/2009_e-energy_transport_figures.pdf
- Eurostat (2009b), *Panorama of Energy: Energy Statistics to Support EU Policies and Solutions*; Eurostat Statistical Books. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-GH-09-001/EN/KS-GH-09-001-EN.PDF
- FAO (2008), *Biofuels Prospects, Risks and Opportunities*; The State of Food and Agriculture 2008. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0100e/i0100e.pdf>
- JANK, M. *et al* (2007), *EU and US Policies on Biofuels: Potential Impact on Developing Countries*; The German Marshall Fund of the USA. http://www.gmfus.org/doc/GMF_US-EU_Final.pdf
- POUS, P. (2009), *EEB Analysis of EU's Revised Biofuels and Bioenergy Policy*; EEB Biodiversity, Water and Soils Policy Office; European Environment Bureau (EEB). www.eeb.org/publication/2009/EEB_Biofuel_Policy_Analysis_2009_FINAL.pdf
- RADETZKI, M. (2008), *A Handbook of Primary Commodities in the Global Economy*; Cambridge University Press, Cambridge.
- WB (2008), *The Promise and the Risks - World Development Report 2008 – Agriculture for Development*.<http://econ.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/EXTDEC/EXTRESEARCH/EXTWDRS/EXTWDR2008/0,contentMDK:21501336~pagePK:64167689~piPK:64167673~theSitePK:2795143,00.html>
- WB (2010), *Development and Climate Change*; World Development Report 2010. <http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2010/Resources/5287678-1226014527953/WDR10-Full-Text.pdf>

AMBIENTES FAVORÁVEIS		
	Domínio Geológico	Faciologia
I	Coberturas sedimentares, quaternárias e terciárias, formadas por lixiviação química.	 Coberturas sedimentares detrítico-lateríticas. Favorabilidade para fosfato residual. (Ia)  Coberturas sedimentares detrítico-carbonáticas. Favorabilidade para calcário. (Ib)
II	Coberturas sedimentares terciárias, amplas e espessas, pouco a moderadamente consolidadas, associadas a pequenas bacias.	 Predominância de pelitos de deposição continental-fluvial. Favorabilidade para depósitos de turfa, gipsita, salgema e anidrita.
III	Coberturas sedimentares clástico-carbonáticas mesozoicas consolidadas, associadas a bacias costeiras do tipo rifte, depositadas em diferentes ambientes, tais como: continental, marinho, desértico, glacial e vulcânico.	 Rochas calcárias contendo intercalações de sedimentos siltico-argilosos. (IIIa)  Espessos pacotes de sedimentos siltico-argilosos. Favorabilidade para fosfato, gipsita e calcário. (IIIc)  Favorabilidade para gipsita, evaporitos, turfa e calcário. (IIIb)  Sedimentos quartzo-arenosos e conglomeráticos com intercalações de sedimentos siltico-argilosos.
IV	Coberturas sedimentares e vulcanossedimentares consolidadas mesozoicas e paleozoicas, associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise, preenchidas por espessos e extensos pacotes de camadas horizontalizadas de sedimentos.	 Predomínio de tufo cineríticos com ocorrências de fosfatos. (IVa)  Espessos pacotes com predomínio de sedimentos siltico-argilosos, arenosos e rochas calcárias. (IVb)  Camadas de evaporitos e calcários com intercalações irregulares de sedimentos siltico-arenosos. (IVc)  Espessas camadas de rochas calcárias intercaladas com finas camadas de sedimentos siltico-argilosos. (IVd)  Sequência siliciclástica depositada em bacia intracratônica e constituída por arenitos, folhelhos e siltitos. Favorabilidade para fosfato. (IVe)
V	Suítes intrusivas alcalino-carbonáticas.	 Favorabilidade para fosfato.
VI	Extensas e espessas coberturas sedimentares proterozoicas pouco dobradas e metamorizadas, caracterizadas por um empilhamento de camadas horizontalizadas e sub-horizontalizadas de diferentes espessuras de sedimentos clastoquímicos de várias composições e depositados em diferentes ambientes tectonodeposicionais.	 Espessos pacotes de sedimentos predominantemente siltico-argilosos com intercalações de arenitos e grauvacas. Favorabilidade para calcário e fosfato. (VIa)  Espessas e extensas camadas de rochas calcárias com intercalações subordinadas de sedimentos siltico-argilosos e arenosos. (VIb)
VII	Sequências metassedimentares proterozoicas complexamente e diferentemente dobradas e metamorizadas em baixo grau.	 Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos com intercalações de grauvacas e ocorrências de fosfatos. (VIIa)  Alternância irregular de finas camadas ou lentes de metassedimentos arenosos com metacalcário, calcissilicáticas e xistos calcíferos. (VIIb)  Predomínio de espessos e extensos corpos de metacalcários, com intercalações de metassedimentos siltico-argilosos e arenosos. Ocorrências de fosfato e calcário. (VIIc)
VIII	Sequências metavulcanossedimentares proterozoicas dobradas e metamorizadas em baixo a médio grau.	 Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos. Favorabilidade para calcário. (VIIIa)  Predomínio de espessos pacotes de rochas metacalcárias com intercalações de finas camadas de metassedimentos siltico-argilosos com ocorrência de fosfato. (VIIIb)
IX	Sequência metavulcanossedimentar do tipo <i>greenstone belt</i> metamorizada em baixo grau, representada por metassedimentos siltico-argilosos, arenosos, clorita-xistos, quartzitos e metacalcários.	 Fáceis exclusivamente metassedimentar representada, principalmente por filitos, xistos, quartzitos e metacalcários.

BASE TECTÔNICA SIMPLIFICADA	
<p>COBERTURAS FANEROZOICAS</p> <ul style="list-style-type: none">  Cobertura Superficial  Bacia Intracratônica Fanerozoica  Bacia de Margem Passiva Mesocenozoica  Bacia Rifte Mesozoica <p>DOMÍNIO BRASILIANO (Regiões Afetadas pela Orogênese Brasileira)</p> <ul style="list-style-type: none">  Orógeno Neoproterozoico (Brasiliano)  Arco Magmático Neoproterozoico (Cedo-Brasiliano)  Inlier de Embasamento Mesoproterozoico  Inlier de Embasamento Paleo a Mesoproterozoico  Inlier de Embasamento Paleoproterozoico  Inlier de Embasamento Arqueano <p>DOMÍNIO CRATÔNICO (Regiões Relativamente Preservadas da Orogênese Brasileira)</p> <p>Coberturas Cratônicas</p> <ul style="list-style-type: none">  Rifte Neoproterozoico e Magmatismo Relacionado  Bacia Intracratônica / Antepaís Neoproterozoico  Bacia Intracratônica / Antepaís Mesoproterozoico  Rifte Paleoproterozoico e Magmatismo Relacionado  Bacia Intracratônica Neorarqueana 	<p>DOMÍNIO CRATÔNICO (Regiões Relativamente Preservadas da Orogênese Brasileira)</p> <p>Embasamento Cratônico</p> <p>Cráton do São Francisco</p> <ul style="list-style-type: none">  Orógeno Paleoproterozoico  Orógeno Neorarqueano Retrabalhado no Paleoproterozoico  Núcleo Arqueano <p>Cráton do Amazonas</p> <ul style="list-style-type: none">  Orógeno Mesoproterozoico e Intrusivas Relacionadas  Orógeno Estateriano  Orógeno Orosiriano e Intrusivas Relacionadas  Tafrógeno Paleoproterozoico e Intrusivas Relacionadas  Orógeno Riacciano-Transamazônico  Orógeno Neorarqueano  Núcleo Arqueano (Bloco Rio Maria)

MAPA DE AMBIENTES GEOLÓGICOS FAVORÁVEIS PARA AGROMINERAIS FONTES DE P, K, Ca, Mg



CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- Potássio
- Fósforo
- Rochas Carbonáticas

GRAU DE IMPORTÂNCIA DOS JAZIMENTOS

- Mina
- ◊ Depósito
- Ocorrência

ÁREA OCEÂNICA

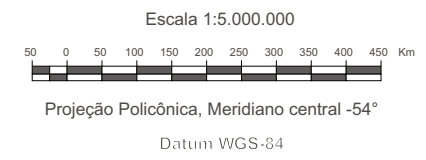
- ⤵ Área potencial para potássio
- ⤵ Área potencial para fósforo
- ⤵ Área potencial para rochas carbonáticas

ÁREAS DE RESTRIÇÃO A MINERAÇÃO

- Integral
- Parcial

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- ⊙ Capital
- Rodovia Federal
- ~ Hidrografia
- +++++ Ferrovia
- Aeroporto



FONTES CONSULTADAS

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo*: sistema de informações geográficas – SIG [Geological Map of Brazil 1:1.000.000 Scale: geographic information system – GIS]. Brasília: CPRM, 2004. 41 CD-ROM. Programa Geologia do Brasil.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Mapa Geodiversidade do Brasil*. Escala 1:2.500.000. Legenda expandida. Brasília, 2006. 68 p.; 1 CD-ROM.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *GEOBANK*. Salvador: CPRM, 2007.

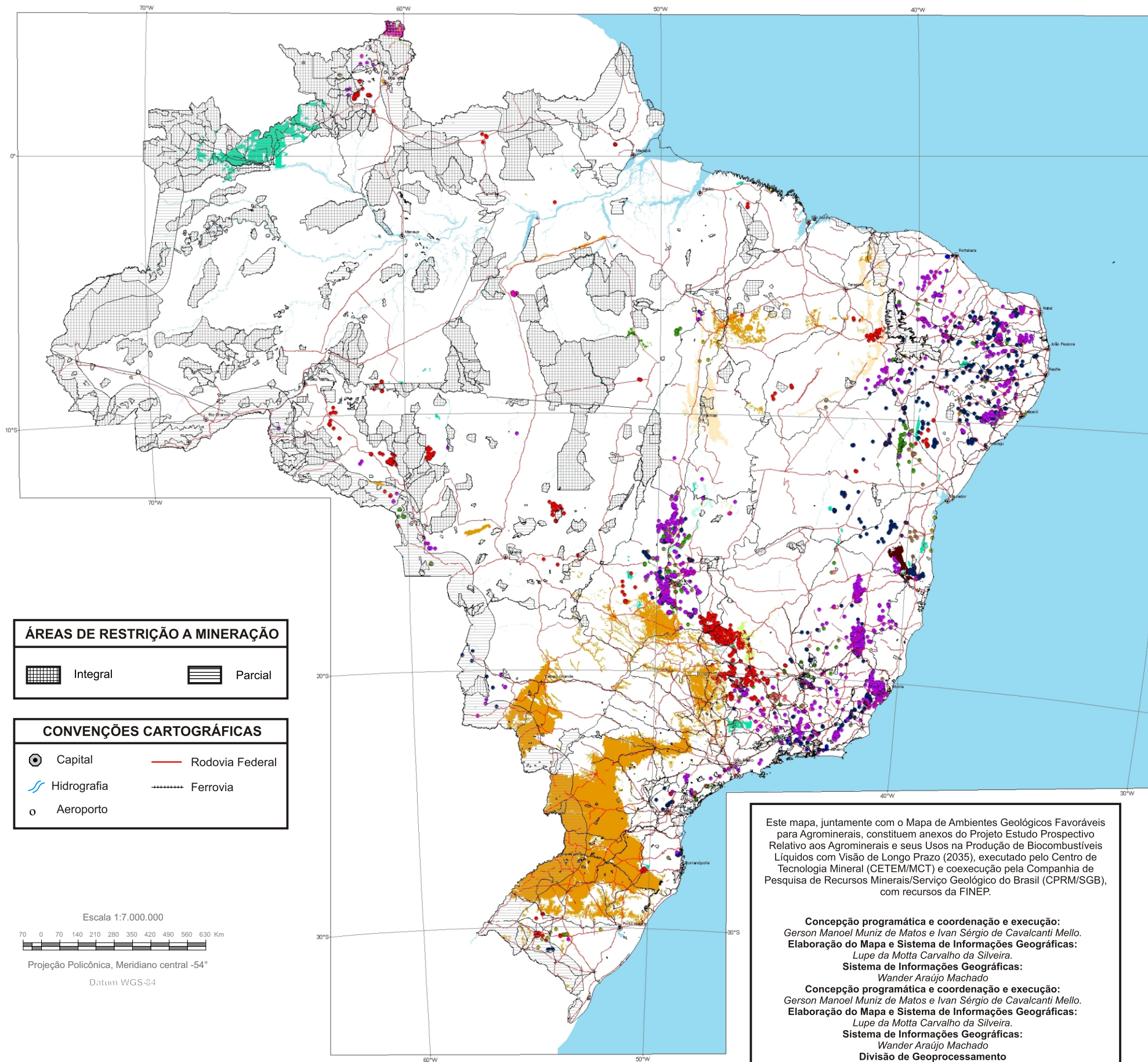
DELGADO, Inácio de Medeiros; FUEZI, Vánessa. *Mapa Tectônico do Brasil*: versão simplificada. Escala 1:5.000.000. Brasília: CPRM, 2009. (Versão preliminar, em CD-ROM).

IBGE. *Base cartográfica vetorial contínua ao milionésimo*: versão 3.01. Rio de Janeiro: IBGE [s.d.]

Este mapa, juntamente com o Mapa de Insumos Mineraiis Alternativos para Agricultura: Rochas, Minerais e Turfa, constituem anexos do Projeto Estudo Prospectivo Relativo aos Agrominerais e seus Usos na Produção de Biocombustíveis Líquidos com Visão de Longo Prazo (2035), executado pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT) e coexecução pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), com recursos da FINEP.

Concepção programática e coordenação e execução: *Gerson Manoel Muniz de Matos e Ivan Sérgio de Cavalcanti Mello*. Elaboração do Mapa e Sistema de Informações Geográficas: *Lupe da Motta Carvalho da Silveira*. Sistema de Informações Geográficas: *Wander Araújo Machado*. Divisão de Geoprocessamento. Coordenação: *João Henrique Gonçalves Geoprocessamento Paulo Roberto Santos Lopes*. Colaboração: *Eliana Marçal dos Santos, Jackson Fernandes de Oliveira, Rosângela de Abreu Bastos*

MAPAS DE INSUMOS ALTERNATIVOS PARA A AGRICULTURA: ROCHAS



ROCHAS METAMÓRFICAS

- Biotita-xisto
- Esteatito
- Flogopitito
- Mármore

ROCHAS SEDIMENTARES

- Arenito Fosfático
- Folhelho Pirobetuminoso
- Glauconito (Verdete)
- Laterito Fosfático

ROCHAS VULCÂNICAS E PLUTÔNICAS

- Anortosito
- Basalto
- Biotitito
- Fonolito
- Kamafugito
- Kimberlito
- Piroxenito
- Serpentinito
- Sienito
- Alcalinas Indiferenciadas
- Básico-Ultrabásicas Indiferenciadas

- Corpos de rocha sem representatividade na escala do mapa.

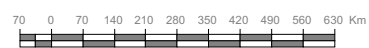
ÁREAS DE RESTRIÇÃO A MINERAÇÃO

- Integral
- Parcial

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Capital
- Rodovia Federal
- Hidrografia
- Ferrovia
- Aeroporto

Escala 1:7.000.000



Projeção Policônica, Meridiano central -54°

Datum WGS-84

Este mapa, juntamente com o Mapa de Ambientes Geológicos Favoráveis para Agromineriais, constituem anexos do Projeto Estudo Prospectivo Relativo aos Agromineriais e seus Usos na Produção de Biocombustíveis Líquidos com Visão de Longo Prazo (2035), executado pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCT) e coexecução pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM/SGB), com recursos da FINEP.

Concepção programática e coordenação e execução:
Gerson Manoel Muniz de Matos e Ivan Sérgio de Cavalcanti Mello.
Elaboração do Mapa e Sistema de Informações Geográficas:
Lupe da Motta Carvalho da Silveira.

Sistema de Informações Geográficas:
Wander Araújo Machado

Concepção programática e coordenação e execução:
Gerson Manoel Muniz de Matos e Ivan Sérgio de Cavalcanti Mello.
Elaboração do Mapa e Sistema de Informações Geográficas:
Lupe da Motta Carvalho da Silveira.

Sistema de Informações Geográficas:
Wander Araújo Machado

Divisão de Geoprocessamento

Coordenação

João Henrique Gonçalves

Geoprocessamento

Paulo Roberto Santos Lopes

Colaboração

Eliana Marçal dos Santos

Jackson Fernandes de Oliveira

FONTES CONSULTADAS

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: sistema de informações geográficas – SIG [Geological Map of Brazil 1:1.000.000 Scale: geographic information system – GIS]. Brasília: CPRM, 2004. 41 CD-ROM. Programa Geologia do Brasil.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa Geodiversidade do Brasil. Escala 1:2.500.000. Legenda expandida. Brasília, 2006. 68 p.; 1 CD-ROM.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. GEOBANK. Salvador: CPRM, 2007.

DELGADO, Inácio de Medeiros; FUEZI, Vanessa. Mapa Tectônico do Brasil: versão simplificada. Escala 1:5.000.000. Brasília: CPRM, 2009. (Versão preliminar, em CD-ROM).

ESTUDO PROSPECTIVO RELATIVO AOS AGROMINERAIS E SEUS USOS NA PRODUÇÃO
DE BIOCOMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS COM VISÃO DE LONGO PRAZO (2035)

Financiamento

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos

Patrocínio

Fundo CT Mineral

Proponente

Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Computação Científica – FACC

Coordenação

Centro de Tecnologia Mineral – CETEM do Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT

José Farias de Oliveira (Diretor)

Francisco Rego Chaves Fernandes (Coordenador do Projeto)

Instituições co-executoras

UFSCar/Rede Inter-universitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (Ridesa)

Embrapa Cerrados/Rede de Pesquisa de Rochas Silicatadas de Fonte de Potássio

CPRM/SGB - Serviço Geológico do Brasil

Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM/MME)

Outros Participantes externos

Arthur Pinto Chaves

Carla Guapo Costa

Eduardo Ogasawara

Elvira Gabriela Dias

Elzevir Guerra

Enir Sebastião Mendes

Fernando Freitas Lins

Joaquim Ramos Silva

Luciano Cordeiro de Loyola

Marcelo Soares Bezerra

Pedro Castro Neto

Rafael Silva Menezes

Yara Kulaif

Comitê Interno

Francisco Rego Chaves Fernandes (Coordenador do Projeto)

Adão Benvindo da Luz

Adriana de Aquino S. da Silva

Adriano Caranasios

Andrea Rizzo

Claudia Duarte Cunha

Claudio Luiz Schneider

Francisco E. Lapido Loureiro

Francisco Mariano da Rocha de S. Lima

Gilson Ezequiel Ferreira

Lauro Santos Norbert Costa

Luis Carlos Bertolino

Marcelo Andrade

Maria Helena Rocha Lima

Marisa Bezerra de M. Monte

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Salvador de Almeida

Silvia Cristina Alves França

Zuleica CarmenCastilhos