



CONTRATO Nº 48000.003155/2007-17: DESENVOLVIMENTO DE ESTUDOS PARA  
ELABORAÇÃO DO PLANO DUODECENAL (2010 - 2030) DE GEOLOGIA,  
MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

## **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME**

SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E  
TRANSFORMAÇÃO MINERAL-SGM

## **BANCO MUNDIAL**

BANCO INTERNACIONAL PARA A RECONSTRUÇÃO E DESENVOLVIMENTO - BIRD

### **PRODUTO 29 AGROMINERAIS**

### **Relatório Técnico 54 Perfil do Enxofre**

**CONSULTOR**  
Yara Kulaif

**PROJETO ESTAL**  
PROJETO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA AO SETOR DE ENERGIA

Agosto de 2009

## SUMÁRIO

SIGLAS E ABREVIATURAS .....	3
ÍNDICE DE TABELAS .....	4
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	4
1. SUMÁRIO EXECUTIVO .....	5
2. CARACTERIZAÇÃO DO SEGMENTO PRODUTIVO.....	7
2.1. Produção dos últimos três anos .....	7
2.2. Preço de mercado por tipo de produto e análise de tendência .....	8
2.3. Valor da produção mineral .....	11
2.4. Qualificação empresarial.....	12
2.5. Recursos humanos.....	13
2.6. Parque produtivo .....	13
3. USOS: PRINCIPAIS USOS DO BEM MINERAL.....	15
4. CONSUMO.....	16
4.1. Panorama mundial.....	16
4.2. Evolução do consumo interno.....	18
4.3. Projeção de consumo de 2010 a 2030 .....	20
5. PRODUÇÃO MINERAL .....	22
5.1. Panorama mundial.....	22
5.2. Produção brasileira.....	24
5.3. Projeção (cenários) de produção de 2010 até 2030.....	25
5.4. Novos projetos .....	26
6. RESERVAS MINERAIS.....	29
6.1. Panorama mundial.....	29
6.2. A situação atual e sua localização no Brasil.....	30
6.3. Relação produção/reserva .....	31
6.4. Potencialidades e identificação de áreas vocacionadas.....	31
6.5. Quantificação da necessidade de adição de reservas para a produção.....	31
7. TECNOLOGIA .....	31
8. RECURSOS HUMANOS.....	32
9. CONCLUSÕES .....	32
10. RECOMENDAÇÕES .....	34
Agradecimentos .....	34
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
12. ANEXOS.....	39

## SIGLAS E ABREVIATURAS

ANDA – Associação Nacional para a Difusão de Adubos  
ANP – Agência Nacional do Petróleo  
BRIC's – Brasil, Rússia, Índia e China  
CADE - Conselho Administrativo de Defesa Econômica  
CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
CFEM - Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais  
CVM/IAN – Comissão de Valores Imobiliários/Informações Anuais da empresa  
DAP – Fosfato Diamônio  
DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral  
EUA – Estados Unidos da América  
FTC - *Federal Trade Commission*  
FOB - Mercadoria livre a bordo (*Free on Board*)  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IFCQ – *International Fuel Quality Center*  
Ln – Função Logarítmica  
MAP – Fosfato Monoamônico  
MF - Ministério da Fazenda  
MINERALDATA – Banco de Dados do CETEM  
MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A.  
MMA – Ministério do Meio Ambiente  
MME - Ministério de Minas e Energia  
NPK – Nitrogênio (N), Potássio (P), Fósforo (K)  
PAC - Plano de Aceleração do Crescimento  
PDGMT - Plano Duo-Decenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral  
PPDSM - Plano Plurianual para o Desenvolvimento do Setor Mineral  
PIB - Produto Interno Bruto  
RAL – Relatório Anual de Lavra  
REDUC – Refinaria de Duque de Caxias  
ROM - *Run of Mine*  
RT - Relatório Técnico  
SEAE - Secretaria de Acompanhamento Econômico do MF  
SGM - Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do MME  
SMB – Sumário Mineral Brasileiro  
UE – União Européia  
USGS - *United States Geological Survey*

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Produção de enxofre no Brasil (2005-2007)*. ....	8
Tabela 2 – Produção de enxofre no Brasil, por empresa (2006). ....	12
Tabela 3 – Exemplo de empresa (Ultrafertil).....	13
Tabela 4 – Parque produtivo das refinarias da Petrobras (2009). ....	14
Tabela 5 – Parque produtivo brasileiro da produção de enxofre como co-produto. ....	14
Tabela 6 - Consumo aparente de enxofre, mundial e por regiões do mundo (10 <sup>6</sup> t de S).....	17
Tabela 7 - Projeções do consumo aparente do enxofre no Brasil - 2010-2030 – em t de S.....	21
Tabela 8 – Produção mundial de enxofre (em 10 <sup>3</sup> t).....	24
Tabela 9 - Projeções da produção do enxofre - 2010-2030 – em t de S.....	26
Tabela 10 - Relação de projetos de investimento em ácido sulfúrico (2008-2013).....	29

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Preços <i>spot</i> do enxofre FOB (US/t), em V invertido, de 2007 a 2009 e sua tendência anterior, de 2002 a 2007, no porto de Vancouver/Canadá. ....	9
Gráfico 2 – Preços do enxofre: média das importações do Brasil (a granel), do mercado interno (outras formas) e da Petrobras (recuperado do petróleo). ....	10
Gráfico 3 – Valor da produção total comercializada de enxofre (milhões de R\$ correntes de 2008) 11	
Gráfico 4 – Usos do enxofre no Brasil (2007). ....	16
Gráfico 5 - Consumo aparente, importação de bens primários, produção e exportação de bens primários no Brasil.....	19
Gráfico 6 – Dependência externa do enxofre (1978-2007).....	19
Gráfico 7 – Consumo aparente de enxofre, Projeções 2010-2030.....	20
Gráfico 8 - Evolução do consumo por habitante de enxofre no Brasil e nos EUA. ....	21
Gráfico 9 – Consumo aparente de enxofre por habitante, Projeções 2010-2030.....	22
Gráfico 10 – Evolução da produção brasileira de enxofre (t de S). ....	25

## 1. SUMÁRIO EXECUTIVO

Segundo o documento "Elaboração do Plano Duo-Decenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - PDGMT 2010/2030" (MME, 2009a), o Brasil tem tido nos últimos 25 anos uma taxa de crescimento econômico muito baixa, mas atualmente reúne condições para entrar em um novo patamar de crescimento. É nesse contexto que surge um planejamento setorial de longo prazo, o presente Plano Duo-Decenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - PDGMT 2010/2030, com um horizonte de 20 anos, previsão de revisões quadrienais e detalhamento coincidentes com os períodos dos Planos Plurianuais-PPAs do governo federal (MME, 2009) e do qual este RT - Relatório Técnico do ENXOFRE é parte integrante (no Anexo AI.5 encontra-se um texto explicativo sobre o PDGMT e apresenta-se a metodologia utilizada nas projeções para 2030).

Em 2008 foram produzidas no Brasil 490 mil toneladas de enxofre. Este montante teve três principais origens: a partir do folhelho betuminoso, minerado em São Mateus do Sul, Paraná; a partir do petróleo obtido nas refinarias existentes no país; e a partir de "outras formas".

O enxofre obtido a partir do petróleo representa hoje apenas 28% da produção brasileira, o equivalente a 5% do consumo aparente. A principal fonte de obtenção do enxofre da produção interna é a partir das outras formas, como co-produto do beneficiamento minero-metalúrgico de ouro, cobre, zinco e níquel, participa com 67% do total. A terceira fonte de produção, o enxofre a partir do folhelho betuminoso, representa apenas 4,7% da produção anual.

O enxofre tem como seu uso mais importante e preponderante a indústria de fertilizantes, o que vale afirmar que é um elo indispensável da cadeia do NPK e um integrante constitutivo dos produtos finais fertilizantes utilizados pelos agricultores brasileiros.

É um exemplo típico de um minério insuficiente brasileiro, o País é (e sempre foi) altamente dependente das importações para atender ao seu consumo.

Entretanto, razões legais de caráter ambiental exigem combustíveis mais limpos e o enxofre que é captado pela Petrobras a partir do tratamento dos combustíveis tem crescido muito nos últimos anos, a exemplo do que ocorre em países desenvolvidos. Neles, o enxofre obtido desta forma é a fonte principal de aprovisionamento, sendo até mesmo superabundante, buscando-se atualmente novas aplicações para o seu escoamento.

Nos últimos anos, os preços internacionais do enxofre mostraram um comportamento relativamente estável, com pouca variação entre o preço mínimo e o máximo, destoando do comportamento oscilante observado das principais *commodities* minerais e das outras substâncias da cadeia do NPK. Entretanto, no período de junho de 2007 a julho de 2009, o comportamento dos preços do enxofre sofreu forte instabilidade, tendo variado de US\$ 900/t FOB, no seu máximo, a US\$ 34/t FOB, no seu mínimo.

No Brasil, os maiores produtores de enxofre são a Petrobras (refinarias e Petrobras - SIX), AngloGold Ashanti, Votorantim Metais - Níquel e Votorantim Metais - Zinco (ex-Cia Mineira de Metais, ex-Cia Paraibuna de Metais e ex-Mineração Serra da Fortaleza) e grupo Paranapanema (Caraíba Metais).

Em 2007 a Petrobras produziu 33% do total da produção brasileira de enxofre (petróleo mais folhelho).

Porém, as vendas da produção nacional de enxofre no mercado interno são segmentadas, não abastecendo necessariamente a indústria dos fertilizantes, que representa cerca de 82 % do consumo total.

Este é o caso extremo da Petrobras, que não tem clientes entre as maiores empresas desta indústria, ou dos grupos produtores de metais, como a Paranapanema e o Votorantim, que têm os fertilizantes como um segundo setor de vendas para a sua produção interna, abastecem setores como o de papel e celulose ou o da indústria química e, suplementarmente, a indústria de fertilizantes.

As importações ficaram predominantemente vinculadas ao consumo das empresas de fertilizantes. As importações de enxofre são geralmente a granel e com a finalidade de obtenção de ácido sulfúrico. Esta importação que visa abastecer de forma direta as grandes empresas de fertilizantes realiza-se principalmente através de fornecedores, empresas exportadoras, não ligadas acionariamente.

Os substitutos para o enxofre ou para o ácido sulfúrico não se tornaram efetivos, principalmente pelo baixo preço deste último. Quanto a novos usos, principalmente em aplicações com outros ácidos existem apenas estudos.

O consumo aparente de enxofre do Brasil, em 2007, foi de 2,7 milhões de toneladas, sendo 2,2 milhões de toneladas de importações<sup>1</sup> e as exportações insignificantes. Em 2008 a quantidade total consumida ficou ao mesmo nível do ano anterior. Desagregando as importações totais por países, encontramos como principais origens das importações brasileiras, em 2006, a Venezuela, com 46%, o Canadá, com 20%, e os Estados Unidos, com 10%. Projetando-se o consumo aparente para o período de 2010-2030 considerando três macro-cenários de evolução da economia (Frágil, Vigoroso e Inovador), além do padrão de consumo *per capita* médio de nações já industrializadas, como uma *proxy* do ponto de saturação do consumo *per capita* brasileiro, verifica-se que teremos necessidade de consumir um adicional de enxofre situado entre mais 50%, mais 100% e mais 150% da quantidade atual, ao se verificar um dos três cenários considerados na projeção. E as nossas fontes internas para a produção brasileira de enxofre, mesmo sendo de difícil estimativa, são certamente completamente insuficientes para suprirem essa necessidade, aja vista que hoje apenas 480.000 toneladas anuais de enxofre são produzidos no país para um consumo de 2.666.666 t (dados de 2008).

Cerca de 69 milhões de toneladas de enxofre são produzidas anualmente no mundo, em todas as suas formas, para serem consumidos pela indústria mundial. A produção mundial pode ser dividida em voluntária (*discretionary*) e forçada (*nondiscretionary*). Na produção voluntária, a mineração de enxofre é o único componente e, na produção forçada, o enxofre, ou o ácido sulfúrico, é recuperado, ou co-produzido, estando completamente atreladas às especificações, normas do produto e ritmo de produção do produto principal. A produção voluntária de enxofre nativo diminui a cada ano, representando apenas 2% da produção mundial. Dos 25 principais países produtores, 18 obtém a sua produção a partir do enxofre recuperado.

Em 2009, com exceção da China, que tem metade da sua produção a partir das piritas, a produção agregada de todos os outros países provém do enxofre recuperado, com o processo de refino de petróleo e do gás natural representando mais de 80%, que adicionado à recuperação no beneficiamento de metais, atinge 98% da produção mundial.

Destacam-se como grandes produtores os Estados Unidos, Canadá, China e Rússia, que representam cerca de 45% da produção mundial. Nos Estados Unidos, a produção se distribui entre enxofre recuperado do petróleo e gás (92%) e o obtido como co-produto dos produtores de ácido sulfúrico (8%), principalmente do refino de cobre (85%), mas também de zinco, chumbo e molibdênio (15%). O Brasil é um inexpressivo produtor mundial, ocupa o 27<sup>o</sup> lugar no *ranking* dos produtores.

---

<sup>1</sup> Na composição dos bens primários importados existem dois produtos relevantes: enxofre a granel (com mais de 90% das importações) e enxofre contido no ácido sulfúrico.

Os principais países exportadores do mundo são, em ordem decrescente, o Canadá, Rússia, Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos, Cazaquistão, Japão e Irã, representando mais de 70% da produção mundial. Os principais países importadores são a China, Marrocos, Estados Unidos, Tunísia, Índia e Brasil.

Em 2008, a produção mundial teve um pequeno crescimento anual de apenas 0,9%, com os quatro principais produtores apresentando crescimento ainda mais inexpressivo. Já em 2007, a produção mundial de enxofre havia crescido 10%, demonstrando as necessidades adicionais decorrentes da demanda aquecida por alimentos e biocombustíveis em dezenas de países.

Segundo os números oficiais, o Brasil detém apenas 1,2% das reservas mundiais (medidas mais indicadas), calculadas pelo SMB (2008) em 49,0 milhões de toneladas de S contido, sendo um somatório apenas das duas substâncias: enxofre (co-produto) e xisto e outras rochas betuminosas (não se computando os teores contidos de S das reservas de petróleo e gás natural).

Não se conhecem reservas no Brasil de enxofre nativo, e de 1972 em diante, existiu uma pequena obtenção regular de enxofre a partir do folhelho betuminoso. O Brasil, tem importantes reservas de petróleo e gás natural (sem se falar da recente descoberta do pré-sal) e ainda significativas reservas de folhelho betuminoso, controlados pela estatal brasileira Petrobras, mas esta fonte assegura apenas 5% do enxofre que o Brasil necessita em todos os seus usos estratégicos.

O Brasil detém ainda, todos não explorados, grandes depósitos estratiformes da bacia sedimentar de Sergipe, município de Siriri, localidade de Castanhal, com um teor médio de 7,1% de S, descobertos em 1978 pela Petromisa, subsidiária da Petrobras, e expressivos depósitos de enxofre oriundo de piritas ( $\text{FeS}_2$ ) - rejeitos piritosos do carvão mineral, localizados na Bacia do Paraná, e as piritas de Ouro Preto - e ainda o enxofre contido nas reservas de gipsita. Finalmente, novos projetos em ouro, cobre e zinco, quando de sua entrada em produção, poderão adicionar mais reservas ao enxofre brasileiro (ALBUQUERQUE, 2008).

Entretanto a maior aposta brasileira no enxofre está nas crescentes recuperações de enxofre dos combustíveis em atendimento às normas legais, em vigor e pactuadas, e ainda nas produções crescentes de petróleo e gás natural, como as que a Petrobras planeja, sejam as relacionadas às atuais explorações de petróleo, com um aumento de capacidade nacional de refino em pelo menos 30%, sejam as refinarias que estão ainda em fase de estudo, dedicadas ao petróleo e gás natural do pré-sal.

## **2. CARACTERIZAÇÃO DO SEGMENTO PRODUTIVO**

O Enxofre faz parte de um grupo de minerais denominados Agrominerais, integrado ainda por Fosfato e Potássio.

### **2.1. Produção dos últimos três anos**

Em 2008, segundo a publicação do MME/DNPM, *Prévia da Indústria Mineral* (2009), foram produzidas no Brasil 490 mil toneladas de enxofre, com apenas 2% de aumento em relação ao ano anterior. De 2006 para 2007, o crescimento foi de 10%. Ressalte-se, como será detalhado em ponto específico adiante, que o Brasil é (e sempre foi) dependente de enxofre, produzindo, em 2007, apenas 18% do seu consumo e importando o restante, 82%, demonstrando assim um alto grau de dependência.

**Tabela 1 – Produção de enxofre no Brasil (2005-2007)\*.**

	2005 ( r )	2006 ( r )	2007 ( p )	% da prod. 2007
Produção total (t)	398.528	435.696	479.666	100
% anual de variação	0,8	9,3	10,1	
<b>Produção (t)</b>				
-- a partir do folhelho betuminoso (t)	19.618	20.954	22.336	4,7
-- a partir do petróleo (t)	112.093	117.203	135.623	28,3
-- a partir de outras formas (t) (1)	266.817	297.539	321.707	67,0

Notas: (1) Enxofre obtido como subproduto do beneficiamento de cobre, ouro, zinco e níquel contido no ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) produzido pela Votorantim Metais, Paranapanema (Caraíba Metais) e AngloGold Ashanti. \*O ano de 2007 é o último ano disponível para as estatísticas de produção do enxofre, desagregadas por origem de obtenção do mesmo.

Fonte: SMB; MINERALdata (2009).

A produção brasileira de enxofre se dá segundo três principais origens: a partir do folhelho betuminoso, minerado em São Mateus do Sul, Paraná; a partir do petróleo obtido nas refinarias existentes no país; e a partir de outras formas. Esta terceira origem, que no Brasil é quantitativamente a mais importante, computa o enxofre contido no ácido sulfúrico que é produzido a partir dos processos metalúrgicos de obtenção de ouro, zinco, níquel e cobre, de Minas Gerais e Bahia, e que aparece como co-produto da exploração desses.

Em 2007, o enxofre a partir do petróleo teve uma taxa de crescimento bastante expressiva no Brasil, de 15,7%, devido às novas exigências legais ambientais que especificam menores teores de enxofre nos combustíveis automotivos (diesel e gasolina). Esta determinação legal obrigou a Petrobras a realizar investimentos nas refinarias para tratamento e recuperação e, como se trata de uma medida progressiva, acordada entre a empresa, o Ministério Público Federal e os órgãos ambientais, está assegurado que esta maior produção se repetirá e se ampliará nos próximos anos. Porém, o enxofre obtido a partir do petróleo representa hoje apenas 28% da produção brasileira ou o equivalente a 5% do consumo aparente. Desta forma, apesar do acréscimo da produção, forçado pelas novas normas ambientais, traduzir-se, daqui a cinco anos, em um aumento de mais de 50% sobre a produção atual (atingindo a marca de cerca de 200 mil t/ano), esta continuará a representar apenas 8% das necessidades atuais.

A produção interna a partir das outras formas, como co-produto do beneficiamento minero-metalúrgico de ouro, cobre, zinco e níquel, participa com 67% do total. A terceira fonte de produção, o enxofre a partir do folhelho betuminoso, representa apenas 4,7% da produção anual.

## 2.2. Preço de mercado por tipo de produto e análise de tendência

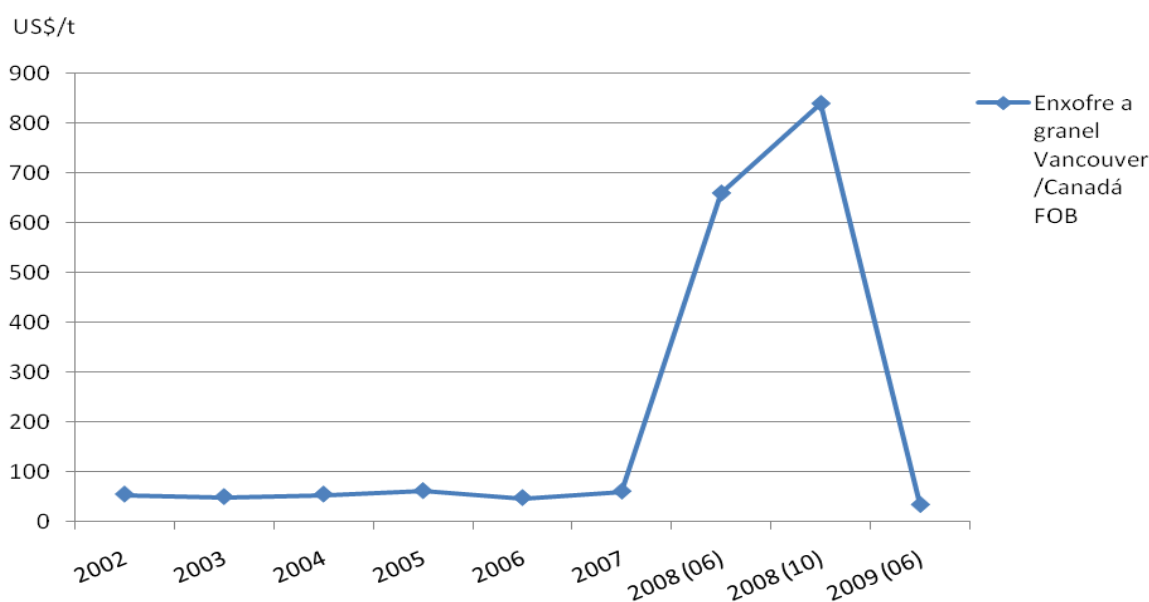
De 2002 até a metade de 2007, os preços internacionais do enxofre mostraram um comportamento relativamente estável, com pouca variação entre o preço mínimo e o máximo, destoando do comportamento oscilante observado das principais *commodities* minerais e das outras substâncias da cadeia do NPK. Entretanto, no período de junho de 2007 a julho de 2009, o comportamento dos preços do enxofre sofreu forte instabilidade, tendo variado de US\$ 900/t FOB, no seu máximo, a US\$ 34/t FOB, no seu mínimo.



O Gráfico 1, a seguir, mostra o comportamento dos preços do enxofre de 2002 a 2009. Aparece em destaque um grande movimento especulativo nos últimos dois anos, no formato de um V invertido:

- ✓ Na primeira perna, grande ascensão em flecha, o preço Vancouver, Canadá, iniciando em US\$ 50/t (no meio do ano de 2007), passa para US\$ 450/t (em janeiro de 2008) até atingir o pico de US\$ 840/t (mantendo-se nesse valor de julho a setembro de 2008), tendo existido o mesmo movimento nas suas principais praças de comercialização mundiais, como em Tampa, na Flórida, Estados Unidos.
- ✓ Na segunda perna, de queda abrupta (de outubro de 2008 até julho de 2009, quando caiu para US\$ 34/t), atingindo atualmente um patamar de preços um pouco inferior aos preços históricos de referência, os anteriores a 2007.

**Gráfico 1 – Preços *spot* do enxofre FOB (US\$/t), em V invertido, de 2007 a 2009 e sua tendência anterior, de 2002 a 2007, no porto de Vancouver/Canadá.**



Nota: Os preços apresentados no gráfico são os praticados no mercado *spot* (pagamento à vista e pronta entrega) do porto de Vancouver, no Canadá.

Fonte: ANDA (2009) e Scotiabank's Commodity Price Index (2009)./ preço de 2009.

O movimento especulativo atingiu os BRIC's<sup>2</sup> (com destaque para Brasil e China), que são grandes importadores mundiais, com pouca fundamentação em fatos reais, citando-se o aumento que tem se verificado na China e Índia na produção crescente de alimentos, já rotineiro nos últimos anos, ou ainda o aumento na produção de biocombustíveis ou a diminuição do ritmo de implantação dos novos projetos de petróleo e gás natural.

Em suma, existiu no final de 2008, no bojo da crise financeira e econômica mundial, uma grande diminuição na oferta de enxofre, com crescimento em flecha do preço do enxofre, em quinze vezes, levando certamente bastante incerteza aos agricultores brasileiros que dependem fortemente dos fertilizantes e ainda cujos custos acrescidos pesam em seus orçamentos, adicionando-lhes um novo ingrediente bem peculiar de expectativas ao clima de crise geral mundial em curso.

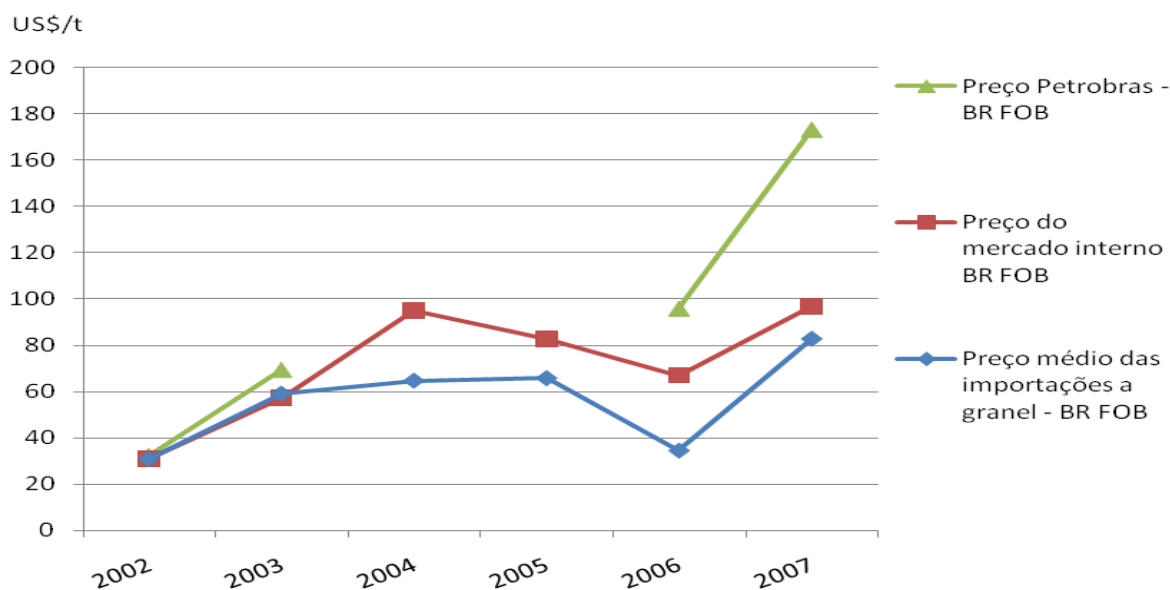
<sup>2</sup> Brasil, Rússia, Índia e China.

Dado o elevado grau de dependência do Brasil por enxofre - quase tudo o que se consome de enxofre vem do exterior - o Brasil, um dos grandes importadores mundiais desta substância, já a partir do meio do ano de 2007 sofreu bastante com esta subida repentina dos preços em V invertido. Para um período anterior, de 1989 a 2003 - um período de 14 anos - tem-se uma situação em que os dois preços, o internacional e o nacional, sempre se situavam em torno dos US\$ 50/t e muito perto um do outro. A partir de 2004, verifica-se um mínimo de US\$ 60 em Vancouver, Canadá, e um máximo, no ácido sulfúrico de Cubatão, Brasil, de US\$ 100/t.

Em 2006, são efetivadas no exterior compras anormais de enxofre muito acima dos valores históricos (3,1 milhões de toneladas em 2006, para 1,8 milhões em 2005 e 2,2 milhões de toneladas em 2007), por empresas importadoras sediadas no Brasil, a um preço médio muito baixo, de aproximadamente US\$ 35/t, que em seguida o estocaram. Há grande aumento nas importações, de 80% com relação às do ano anterior, contabilizando alto consumo aparente do ano, aumento de 60% (ver adiante), indicando a constituição de vultosos estoques. Estes estoques foram revendidos, logo após, com ganhos de largas centenas de dólares pela mesma tonelada, como que adivinhando o movimento de subida dos preços internacionais que nesse momento disparavam às alturas.

Numa análise mais específica do mercado interno, com relação às três séries de preços praticados no Brasil e publicadas pelo SMB, conforme o tipo de obtenção do enxofre, estes oscilaram muito, enquanto o preço Petrobras (cujo produto é vendido para outros usos que não o de fertilizantes), foi nos últimos anos mais elevado que os demais, conforme o Gráfico 2 abaixo. Para 2008, dados da publicação “Prévia da Indústria Mineral 2009/2008”, do MME/DNPM, mostram que os preços médios das importações do Brasil atingiram US\$ 500/t.

**Gráfico 2 – Preços do enxofre: média das importações do Brasil (a granel), do mercado interno (outras formas) e da Petrobras (recuperado do petróleo).**



l e zinco,

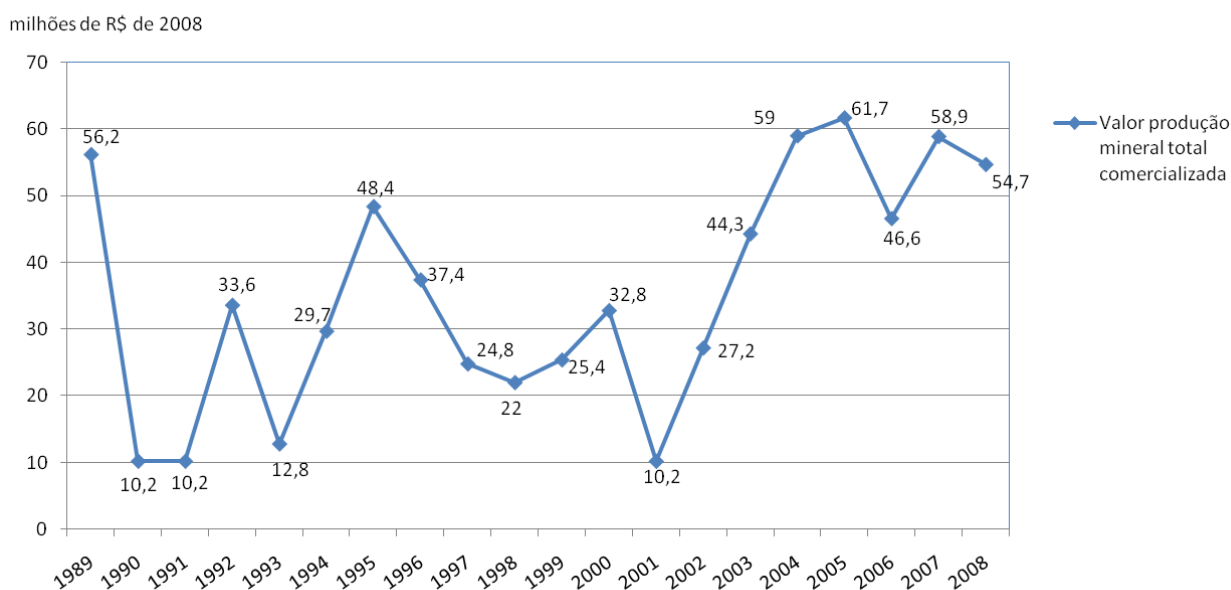
Como conclusão deste item, pode-se afirmar que a tendência futura de preços internacionais é, segundo analistas ligados à substância, uma oscilação de preços um pouco acima dos valores históricos, entre um mínimo de US\$ 60/t e um máximo de US\$ 80/t, a mesma previsão genérica para o pós-crise mundial, que é feita, por alguns analistas otimistas, para as outras substâncias minerais. Estas, passada a tormenta, se estabilizariam um pouco acima dos valores anteriores ao *boom* da sua disparada.

Mas especialistas em combustíveis prevêem, em um horizonte de mais longo prazo, uma queda nos preços do enxofre, devido ao acréscimo significativo na produção mundial forçada de enxofre, causado pela implantação efetiva, que está a decorrer em muitos países do mundo, das medidas ambientais já pactuadas e ainda por novas medidas mais restritivas às emissões atmosféricas de SO<sub>2</sub>, o que traria no futuro um acréscimo significativo na oferta de enxofre e um grande desafio de obter usos adicionais.

### 2.3. Valor da produção mineral

Em seguida apresenta-se o valor da produção mineral de enxofre entre 1989 e 2008.

**Gráfico 3 – Valor da produção total comercializada de enxofre (milhões de R\$ correntes de 2008)**



Fonte: Mineraldata (2009); SMB e MME/DNPM (2009).

Este gráfico aqui reconstituído para incluir, consistentemente, todos os tipos de produção brasileira de enxofre, abrange o período de 1989 a 2008. Inicialmente, constata-se que não existe nenhuma série de enxofre publicada na "Mineração do Brasil". Nas séries do AMB – Anuário Mineral Brasileiro, não se publica, entre 1978 e 1991 e a partir de 2001, dados referentes à produção a partir da recuperação do enxofre contido no petróleo e gás natural e, ainda, o obtido do folhelho betuminoso, conforme nota metodológica no anexo da publicação: “A produção é obtida como subproduto do beneficiamento de ouro, cobre e zinco. A produção como subproduto de rochas betuminosas e petróleo não foi computada por não ser abrangida pelos RAL’s”, utilizando-se diretamente os dados do SMB, sobre a produção (em quantidade) para cada tipo de enxofre e utilizando-se os preços do mercado interno, o preço praticado pelas empresas que obtém o enxofre como co-produto no processo de beneficiamento de alguns metais, e, quando foi possível, o preço praticado pela Petrobras, no enxofre recuperado a partir do petróleo, gás natural e xisto betuminoso.

O aumento do valor da produção mineral brasileira de enxofre reflete o aumento internacional dos preços desta commodity, conforme já referido, e não incrementos significativos na sua produção física no país.

## 2.4. Qualificação empresarial

Não existem atividades informais de extração de enxofre, nem nenhuma atividade conhecida de garimpagem. No Brasil, os maiores produtores de enxofre são: Petrobras (refinarias e Petrobras - SIX), AngloGold Ashanti, Votorantim Metais -Níquel e Votorantim Metais - Zinco (ex-Cia Mineira de Metais, ex-Cia Paraibuna de Metais e ex-Mineração Serra da Fortaleza) e grupo Paranapanema (Caraíba Metais). A Indústria Carboquímica Catarinense - ICC produziu, nos últimos anos, uma pequena quantidade de enxofre a partir dos rejeitos do carvão catarinense, em Lauro Muller, mas descontinuou essa produção. (AMB, 2006; AS MAIORES, 2009).

Em 2007, a Petrobras produziu 33% do total da produção brasileira de enxofre (petróleo mais folhelho). Sendo a produção a partir de petróleo e gás natural, uma produção forçada, decorrente da necessidade de venda no mercado de seus produtos, dentro das especificações legais determinadas pela ANP, aumentará substancialmente nos próximos anos, porque como veremos adiante, no item consumo, terá de gradativamente, ao longo dos próximos cinco anos, de reduzir drasticamente o teor de enxofre nos combustíveis vendidos para abastecer a frota automotiva brasileira. Já a produção de enxofre, equivalente ao contido na obtenção de ácido sulfúrico nos processos de beneficiamento de metais, é realizada por três grupos, Paranapanema, AngloGold Ashanti e Votorantim Metais.

**Tabela 2 – Produção de enxofre no Brasil, por empresa (2006).**

Grupo	Produção (t de S)	% da produção	Concentração (%)	Destinos principais
Paranapanema (1)	174.591	40,1	40,1	Fertilizantes/Química
Petrobras (2)	138.157	31,7	71,8	Química/Comércio varejista
Votorantim Metais (3)	85.324	19,6	91,4	Fertilizantes/Química
AngloGold Ashanti (4)	37.624	8,6	100,0	Química
Total	435.696	100,0		

Nota: (1) Cobre: Caraíba Metais; (2) Petróleo e Gás natural: 85,9% de S recuperado e Folhelho Betuminoso, 14,1%; (3) Zinco e Níquel: Votorantim Metais; (4) Ouro: Mineração Morro Velho. \* O teor de conversão de S para ácido sulfúrico é de 30,63% de S contido em uma tonelada de ácido sulfúrico.

Fonte: SMB; ABIQUIM (2008a e 2008b); PARANAPANEMA (2008).

Numa primeira avaliação da concentração de mercado (sem se computarem as importações, mas apenas a produção interna), ele é muito concentrado – uma única empresa detém 40%, duas 73%, 91% e quatro 100% – ressaltando-se que sendo parte desta produção obtida do petróleo, o regime jurídico obriga a Petrobras a se fazer presente sozinha. O índice de concentração C4 é alto, 100% e o HHI é de 2.948,1 caracterizando um mercado de concorrência imperfeita (oligopólio) (SCHMIDT, 2002; PINTO, 2009). Para maiores detalhes sobre os índices consultar o Anexo I.5.

Em segundo lugar, as vendas são segmentadas, as compras de enxofre pelo oligopólio da indústria dos fertilizantes não se “misturam” com as vendas da produção interna e as importações ficaram predominantemente vinculadas ao oligopólio. Os grupos Paranapanema e Votorantim têm os fertilizantes como um segundo setor de vendas para a sua produção interna.

Finalmente, em terceiro lugar, os três grupos produtores de metais, abastecem diferentes setores produtivos, como o papel e celulose, os químicos e, ainda, embora de modo suplementar a indústria de fertilizantes.

A Petrobras comercializa, por meio da Petrobras Distribuidora, o enxofre de três formas diferentes: pedra, líquido e escamas, sendo seus tipos de produtos, com traços de hidrocarbonetos ou sulfetos de hidrogênio e na forma pulverizada, utilizados: para enxofre pecuário, como complemento alimentar para gado; o ventilado na vulcanização de borrachas e pneus e o industrial para aplicação em segmentos da indústria. Não abastece a indústria de fertilizantes e os destinos finais das suas vendas, por setores da atividade econômica, são: as indústrias petroquímicas 40%, o comércio varejista 15%, o comércio atacadista 5%, o papel e celulose 11%, a indústria alcooleira 6%, os produtos farmacêuticos 6%, diversos 2% e artefatos diversos 15%. O enxofre comercializado pela Petrobras atende às especificações da Agência Nacional de Petróleo (ANP) e tem alterações programadas, para a redução bem mais drástica do teor de enxofre nos seus combustíveis, escalonadas para os próximos anos. (PETROBRAS, 2009a).

As importações de enxofre são geralmente a granel, e com a finalidade de obtenção de ácido sulfúrico e destinam-se na sua quase totalidade para a indústria de fertilizantes, a fatia mais importante, com 82 % do consumo total brasileiro. Esta importação está muito vinculada aos produtores da indústria de fertilizantes, principalmente através de fornecedores internacionais, empresas exportadoras, não ligadas acionariamente. Exemplo de compras não ligadas acionariamente à empresa, é a empresa Ultrafertil, uma controlada da Fosfertil e liderada pelo grupo Bunge, uma das empresas produtoras de fertilizantes mais importantes no Brasil (BUNGE, 2009; FOSFERTIL, 2009). Tem ações na Bolsa de Valores e portanto sujeita a declarações anuais sobre os seus negócios, que são de pública consulta, e apresenta na CVM o seguinte quadro de fornecedores para o enxofre, sem qualquer ligação acionária com a empresa, todas grandes *traders* internacionais que lhe vendem enxofre, através de importações, não compra diretamente ou de produtor nacional.

**Tabela 3 – Exemplo de empresa (Ultrafertil) com enxofre importado.**

Fornecedor	Sede	Site na net	Quant. Importado (t)	Tipo de fornecedor
Husky Energy International Sulphur	Alberta / Canadá	<a href="http://www.huskyenergy.com/ourproducts/canada/sulphur/">http://www.huskyenergy.com/ourproducts/canada/sulphur/</a>	64.379	Não ligado
Interacid	Lausane / <input type="checkbox"/> ltra	<a href="http://www.interacid-trading.com/">http://www.interacid-trading.com/</a>	29.418	Não ligado
Icec Limited	Cazaquistão e Canadá	<a href="http://www.icecglobal.com/Services/index.html">http://www.icecglobal.com/Services/index.html</a>	21.789	Não ligado
Gazprom Export	Moscú / Rep. Da Rússia	<a href="http://www.gazpromexport.ru/?pkey1=00004">http://www.gazpromexport.ru/?pkey1=00004</a>	8.780	Não ligado
Petrosul International	Vancouver / Canadá	<a href="http://www.petrosul.com/index.php">http://www.petrosul.com/index.php</a>	4.951	Não ligado
H J Baker Finance Group	Alberta / Canadá	<a href="http://www.huskyenergy.com/aboutus/ky/">http://www.huskyenergy.com/aboutus/ky/</a>	4.919	Não ligado

Fonte: CVM/ IAN – Informações Anuais da ltrafért/ltrafétil de 2008 (2009).

## 2.5. Recursos humanos

Sendo a produção nacional constituída apenas de uma (co-) produção no processamento de outros metais e ainda do recuperado do petróleo, gás combustível e folhelho betuminoso, não existem estatísticas em separado.

## 2.6. Parque produtivo

A Petrobras tem 11 refinarias no Brasil e está em processo de construção de mais cinco, além das adicionais, que definirá em breve, para atender ao pré-sal. Na tabela abaixo, indicam-se as suas localizações e capacidades produtivas. É delas que sai a atual recuperação forçada e acrescida do enxofre, após a entrada em vigor das novas normas e da fiscalização do Ministério Público

Federal para a sua aplicação. Segundo a Petrobras, até 2020 aumentará em 30% a sua capacidade de refino e terá ainda uma expansão adicional de novas refinarias dedicadas ao pré-sal. Está atualmente investindo na colocação de circuitos recuperadores de enxofre nas suas refinarias.

**Tabela 4 – Parque produtivo das refinarias da Petrobras (2009).**

Região	UF	Localização	Nome	Capacidade anual produtiva em petróleo (bpd)
NORTE	AM	Manaus	REMAN	46.000
	MA	São Luiz (início para 2013)	PREMIUM I	600.000
NORDESTE	BA	São Francisco do Conde	RLAM	323.000
	PR	Ipojuca (início para 2010)	RENEST	230.000
	CE	Pecém (início para 2013)	PREMIUM II	300.000
	RN	Guamaré (início para 2011)	Mini	80.000
SUDESTE	MG	Betim	REGAP	251.000
	SP	Paulínia	REPLAN	365.000
	SP	São José dos Campos	REVAP	251.000
	SP	Cubatão	RPBC	170.000
	SP	Mauá	RECAP	53.000
	RJ	Duque de Caxias	REDUC	242.000
	RJ	Itaboraí (início para 2012)	COMPESQ	150.000
SUL	PR	Araucária	REPAR	189.000
	RS	Canoas	REFAP	189.000

Fonte: Petrobras (2009b).

Entretanto, para a localização do parque produtivo, as minas e usinas de beneficiamento, onde o enxofre se gera na forma de ácido sulfúrico, como co-produto no beneficiamento de metais, tem-se as informações na tabela a seguir.

**Tabela 5 – Parque produtivo brasileiro da produção de enxofre como co-produto de minerais.**

Grupo controlador	Localização	Substância	Capacidade em H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Capacidade em S equivalente
Paranapanema (Carafba Metais)	Jaraguari (BA)	Cobre	500.000	163.239
AngloGold	Mina Cuiabá, Sabará (MG)	Ouro	132.000	43.095
	Subtotal	Níquel e Zinco	384.000	125.367
Votorantim Metais	Fortaleza de Minas (MG)	Níquel	144.000	47.013
	Juiz de Fora (MG)	Zinco	120.000	39.177
	Três-Marias (MG)	Zinco	120.000	39.177
Total			1.016.000	331.701
Capacidade nacional (total)			7.000.960	2.285.655

Nota: \*coeficiente de equivalência de 1 tonelada de S para 306,3 kg de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Fontes: AS MAIORES (2009) e AS 200 (2009); Paranapanema (2008).

### 3. USOS: PRINCIPAIS USOS DO BEM MINERAL

O enxofre é um dos mais importantes produtos de origem mineral utilizado como matéria-prima na indústria, é a base para a fabricação do ácido sulfúrico, um produto natural, sólido à temperatura ambiente, de cor amarela e com odor característico. Pode ser extraído de minas de enxofre perfuradas a grandes profundidades (como foi no passado, sendo abandonada), ou ainda pela recuperação de gases ácidos do petróleo e do gás natural. Além disso, pode ser recuperado já na forma de ácido sulfúrico, como subproduto de outras atividades, como de metais sulfetados, que possuem enxofre como impureza (da metalurgia do ouro, cobre, zinco, níquel e molibdênio), do folhelho (ou xisto) betuminoso (ALBUQUERQUE, 2008; KULAIF, 1999). O enxofre, diferentemente da maior parte das *commodities* minerais, tem como finalidade ser reagente e não faz parte de um produto final. Para tal requer que seja convertido num produto químico intermediário, como o é o ácido sulfúrico, participando na síntese de vários compostos, antes de a sua utilização se iniciar em numerosos processos industriais.

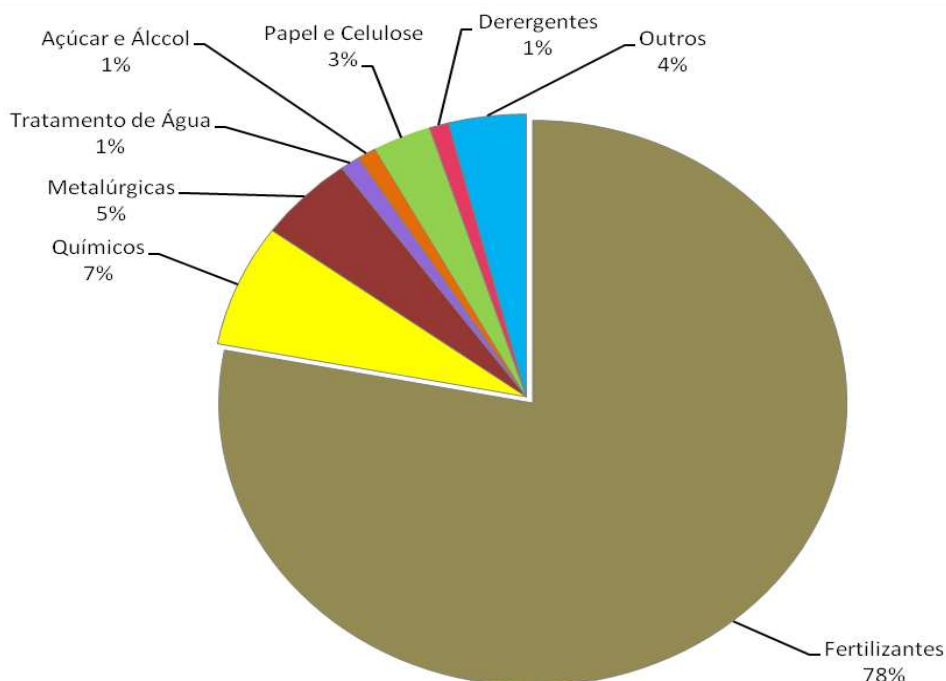
A seguir, apresenta-se um gráfico onde se distribuem os principais usos do enxofre pelos diferentes setores de atividade econômica. O uso preponderante é para fertilizantes (ácido sulfúrico, rocha fosfática e sulfato de amônia) com 78% do total, seguindo-se a indústria química (SO<sub>2</sub> e uma ampla gama de produtos) (7%), metalúrgica (principalmente na eletrólise de metais) (5%), papel e celulose (3%), açúcar e álcool (indústria açucareira e produção de vinhos) (1%) e outros (indústria de borracha e pneumáticos, inseticidas e fungicidas, detergentes, corantes e complemento alimentar para gado) (6%).

As especificações dos principais produtos de enxofre são:

- ✓ O enxofre cru é o enxofre elementar, com o mínimo de 99,5% de S contido. Comercializado na forma de pelotas, briquetes ou tiras, para evitar a geração de pó. A sua utilização é extensiva a largas centenas de produtos, diversificados por muitos ramos de atividade industrial.
- ✓ O ácido sulfúrico, considerado o mais universal ácido de origem mineral utilizado e o químico inorgânico, em volume, de maior produção e consumo.

O seu uso mais importante é na indústria de fertilizantes, um elo indispensável da cadeia do NPK. Do enxofre se passa para o ácido sulfúrico (S:H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 0,31:1,00), que reagirá com a rocha fosfórica, produzindo o ácido fosfórico e associado a outras matérias-primas, produzirá os produtos finais, que são os diferentes tipos de fertilizantes.

**Gráfico 4 – Usos do enxofre no Brasil (2007).**



Fonte: Paranapanema (2008)./ dados da ABIQUIM (2008a).

Os substitutos para o enxofre ou para o ácido sulfúrico, não se tornaram efetivos principalmente pelo baixo preço deste último. Quanto a novos usos, principalmente em aplicações com outros ácidos existem apenas estudos.

## 4. CONSUMO

### 4.1. Panorama mundial

Tendo em vista as quantidades cada vez maiores de fontes de obtenção, a indústria mundial do enxofre enfrenta como desafio muito peculiar expandir seu consumo em mercados não tradicionais. Ressalte-se que já atinge 90% da produção mundial a participação diretamente decorrente de medidas ambientais para a redução das emissões de SO<sub>2</sub>, sendo que algumas ainda estão em implementação e novas restrições deverão aparecer nos próximos anos.

A principal fonte é o “ouro negro”, fornecendo produtos combustíveis mais limpos e com diminutas emissões danosas de enxofre na atmosfera e, ainda avultam os processos de beneficiamento de metálicos, onde o principal bem extraído não é o enxofre, apenas este sendo um co-produto, atrelado ao destino ditado por outras *commodities* bem mais cobiçadas, como o ouro, o cobre, o zinco, o molibdênio e o níquel. Assim a sua obtenção fica a reboque de variável externa - o ritmo de extração voluntária do bem principal a ele associado-, ao mesmo tempo que é alvo de medidas legais para coibir suas emissões atmosféricas, o que significa maior obtenção do enxofre como (co-)produto forçado.

O dilema para esta atividade: - Como se desvencilhar lucrativamente do enxofre, com quantidades cada vez maiores do mesmo sendo produzido mundialmente, ao mesmo tempo em que se multiplicam as localizações produtivas das refinarias? - não é exatamente o mesmo dilema com



que defrontam outros minerais, metais e materiais, que é o seguinte: - Como poderemos nos expandir e produzir, face às medidas cada vez mais restritivas de proteção ao ambiente que atinge a espinha dorsal do nosso processo produtivo da indústria, onde ainda dependemos de tecnologias não-limpas?

Apresenta-se na tabela seguinte, o consumo mundial aparente e nas principais regiões do mundo do enxofre (igual à produção mais as importações, subtraídas as exportações).

**Tabela 6 - Consumo aparente de enxofre, mundial e por regiões do mundo (milhões de t de S).**

<b>Regiões</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>% cresc.</b>	<b>% partic.</b>
Europa Ocidental	3.633	3.532	3.498	-0,2%	7,3%
Europa Central	754	857	850	0,5%	1,8%
Europa de Leste e Ásia Central	4.315	4.359	2.945	-3,4%	6,1%
América do Norte	10.345	10.162	10.132	-3,7%	21,0%
América Latina	3.188	3.275	3.765	3,3%	7,8%
África	7 177	7 009	7.367	2,9%	15,0%
Ásia Central e Oriente Médio	2.332	2.253	1.981	0,5%	4,4%
Sul da Ásia	2.663	2.723	2.812	4,1%	5,8%
Ásia de Leste	12.042	12.591	13.713	11,9%	28,5%
Oceânia	88	828	1.036	12,1%	2,2%
Diversos	48	66	45	-29,6%	0,1%
<b>Total</b>	<b>47.284</b>	<b>47.654</b>	<b>48.143</b>	<b>1,9%</b>	<b>100,0%</b>
<i>UE – União Europeia</i>	<i>4.682</i>	<i>4.666</i>	<i>4.591</i>	<i>0,2%</i>	<i>9,5%</i>

Notas: % cresc. - percentagem média de crescimento nos últimos cinco anos; % partic. – percentagem de participação no total mundial do último ano.

Fonte: IFA (2009).

Trata-se de uma estatística exemplificativa do paradigma atual mundial, onde fica patente:

- ✓ Nos Países Desenvolvidos, a desaceleração lenta do consumo aparente de enxofre (e também de toda a cadeia do NPK). São concomitantemente os maiores consumidores de combustíveis para a sua frota automotiva e ainda de metais e materiais, e grandes produtores mundiais de enxofre, enquanto desaceleram os níveis de consumo aparente de enxofre, com taxas negativas de crescimento, lhes gerando indesejáveis excedentes. A América do Norte, com 21% do consumo mundial em 2007 e com 3,7% de queda média anual de crescimento nos últimos cinco anos e na UE a 27 países, que tem 9,5% do consumo mundial e apenas +0,2% de crescimento nos últimos 5 anos.
- ✓ Na maioria dos países dos BRIC's (no caso a China, Índia e Brasil) e ainda nos países asiáticos, cresce fortemente a produção de *commodities* de alimentos e também as novas culturas para biocombustíveis, necessitando de matérias-primas fertilizantes adicionais onde o enxofre é seguramente uma matéria-prima de base essencial. A América Latina e a Ásia, onde, respectivamente o Brasil e a China são preponderantes, tem altas taxas de crescimento do seu consumo nos últimos cinco anos de 7,8% de média anual e de 28,5%.

## 4.2. Evolução do consumo interno

Os agrominerais (rocha fosfática, enxofre, potássio e produtos nitrogenados) são exemplos de minérios insuficientes brasileiros, tendo elevada dependência do subsolo alheio. Conforme será salientado em outros perfis - Fosfato, Potássio e Cadeia do NPK - sobre os fertilizantes, há elevados gastos com as importações dos mesmos. Por exemplo, em 2007, a produção de rocha fosfática representou 78% do consumo aparente, dependência de 32%, (se computado todo o fósforo atinge 50%) e do potássio apenas 10%, dependência de 90%, enquanto o enxofre, objeto do presente perfil, apenas supre com a sua produção nacional 18% do total do consumo aparente brasileiro, dependência de 82% (RODRIGUES, 2009).

Em valores monetários, as necessárias importações para atender ao consumo brasileiro, na rocha fosfática, potássio e enxofre já atingiram, em 2008, US\$ 5,1 bilhão 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 para a rocha fosfática e US\$ 1,0 para o enxofre. Têm-se ainda outras importações, não incluídas neste cálculo, do nitrogênio sob a forma de amônia, sulfato de amônia e uréia, além da importação de produtos intermediários para fertilizantes, como o DAP e o MAP (ALBUQUERQUE, 2008).

Está assim constituída uma grande vulnerabilidade nacional, com todos os riscos concomitantes, tanto na segurança no abastecimento das matérias-primas, como na segurança alimentar, para um grande país agrícola e produtor de biocombustíveis (ALBUQUERQUE, 2008).

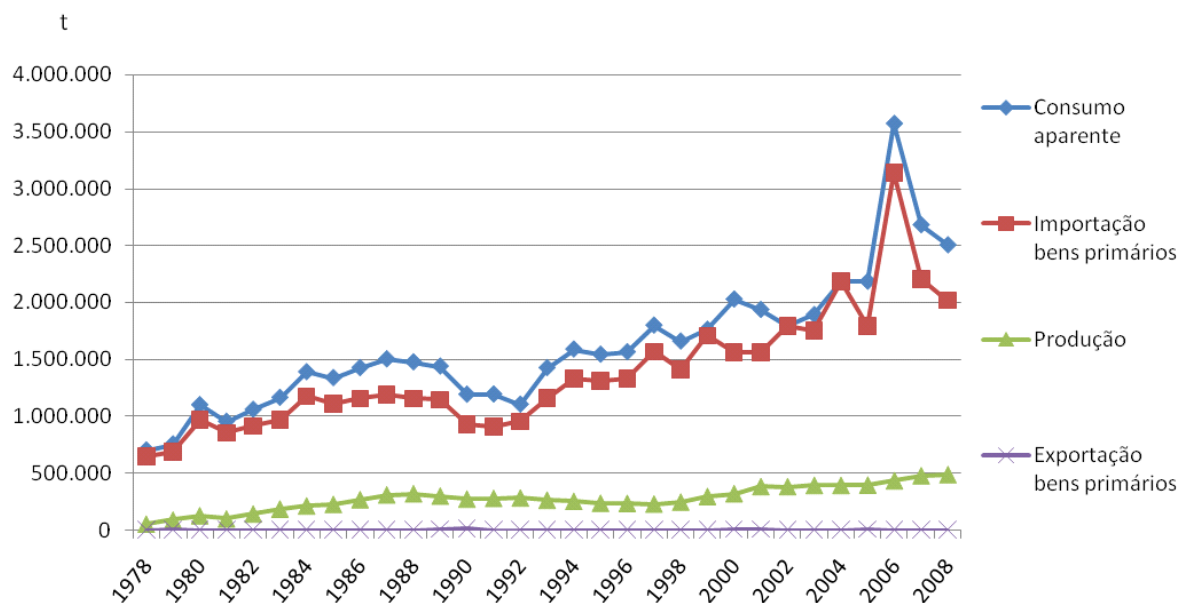
Nos últimos 30 anos, de 1978 a 2007, o consumo aparente de enxofre praticamente quadruplicou, os índices anuais de dependência (importações divididas pelo consumo aparente) são sempre superiores a 80%, para 22 anos dos 27 anos que compõem a série e nos últimos 5 anos, sem exceção, os índices anuais de dependência se situaram sempre acima de 80%. Quanto ao elevado crescimento, bem superior ao crescimento do PIB brasileiro neste período, se deve principalmente à intensificação da produção agrícola brasileira e recentemente puxada pela alta dos preços internacionais de todas as suas principais *commodities* e da aceleração na produção de biocombustíveis, demandando mais e mais fertilizantes e, conseqüentemente, maiores quantidades de diferentes matérias-primas e produtos intermediários (como o enxofre), que são indispensáveis à produção da indústria de fertilizantes, o elo final do enxofre na cadeia do NPK. Como se demonstra à exaustão há um descompasso muito preocupante entre a realidade agrícola brasileira de maior (ou um dos maiores) produtor no mundo, em diferentes culturas agrícolas e a necessária retaguarda para a sua sustentação. E o mais dramático é que a projeção das tendências para o futuro só amplia esse fosso (SAAB e PAULA, 2008).

O consumo aparente de enxofre do Brasil, em 2007, foi em torno de 2,7 milhões de toneladas, sendo que 2,2 milhões de toneladas de importações, as exportações insignificantes. Em 2008 a quantidade total consumida caiu para 2,5 milhões de toneladas. Na composição dos bens primários importados existem dois produtos relevantes: enxofre a granel (com mais de 90% das importações) e enxofre contido no ácido sulfúrico.

O ano de 2006 foi marcado como o ano da especulação, baixos preços do enxofre comercializado a nível mundial, estimularam fortemente as importações para o Brasil, tanto na forma primária, como também de compostos químicos. O câmbio valorizado do real face ao dólar, também foi um fator muito favorável às importações. Foram importadas 3,1 milhões de toneladas de enxofre, 75% de aumento na quantidade, a produção interna com 9 % de crescimento em relação ao ano anterior, saldando-se um consumo aparente de 3,6 milhões de t, cerca de 63,5% superior a 2005, dando portanto lugar a uma grande ampliação dos estoques e ao registro formal de um consumo aparente bem maior que o consumo efetivo. Já em 2007, os preços internacionais dispararam, mas o Brasil importou bem menos (-30%), tendo esses estoques de enxofre constituídos no ano anterior, sido revendidos no mercado interno, com o preço remarcado, obtendo seus proprietários alto deságio (SMB, 2008).

Desagregando as importações totais por países, encontramos como principais origens das importações brasileiras os três seguintes países (dados disponíveis para 2006): a Venezuela com 46%, o Canadá com 20% e os Estados Unidos com 10%. As exportações brasileiras são insignificantes, em decorrência do consumo interno de quase toda a produção doméstica (SMB, 2008).

**Gráfico 5 - Consumo aparente, importação de bens primários, produção e exportação de bens primários no Brasil.**

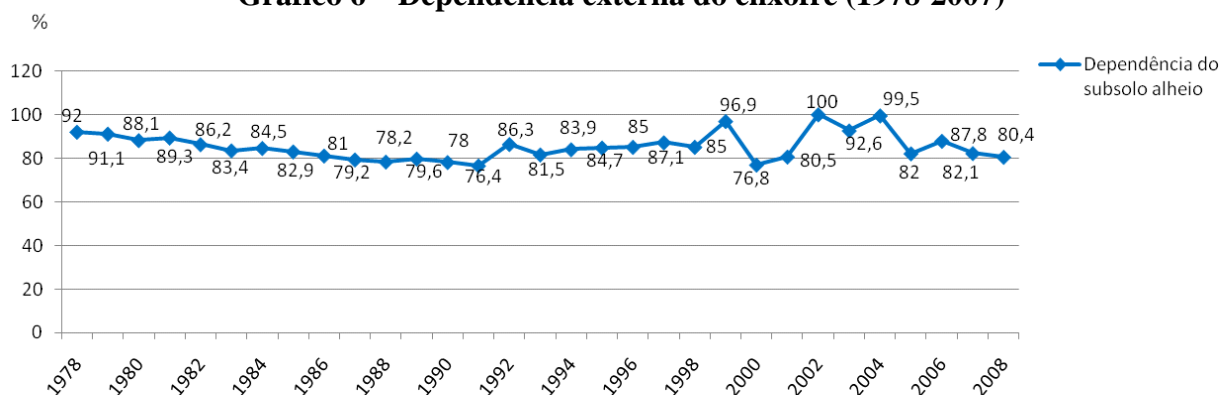


Fonte: SMB e, para 2008, MME/DNPM (2009); MINERALdata (2009).

Pode-se verificar que o volume de enxofre produzido anualmente no Brasil encontra-se muito abaixo das necessidades de mercado. É também preocupante a situação do elo seguinte da cadeia do NPK, o ácido sulfúrico, a principal matéria-prima de aplicação intermediária na fabricação de diversos produtos, dentre eles, os fertilizantes solúveis. O Brasil é ainda um dos maiores importadores de fertilizantes em escala mundial e o crescimento neste setor da economia, depende em grande parte do mercado externo. (SMB, 2008).

O coeficiente de dependência, medido pelo quociente entre as importações totais e o consumo atinge os 80%, conforme a tabela a seguir. O rompimento do círculo vicioso da dependência precisa de equacionamento estratégico adequado (ver o RT da cadeia do NPK e de rocha fosfática).

**Gráfico 6 – Dependência externa do enxofre (1978-2007)**



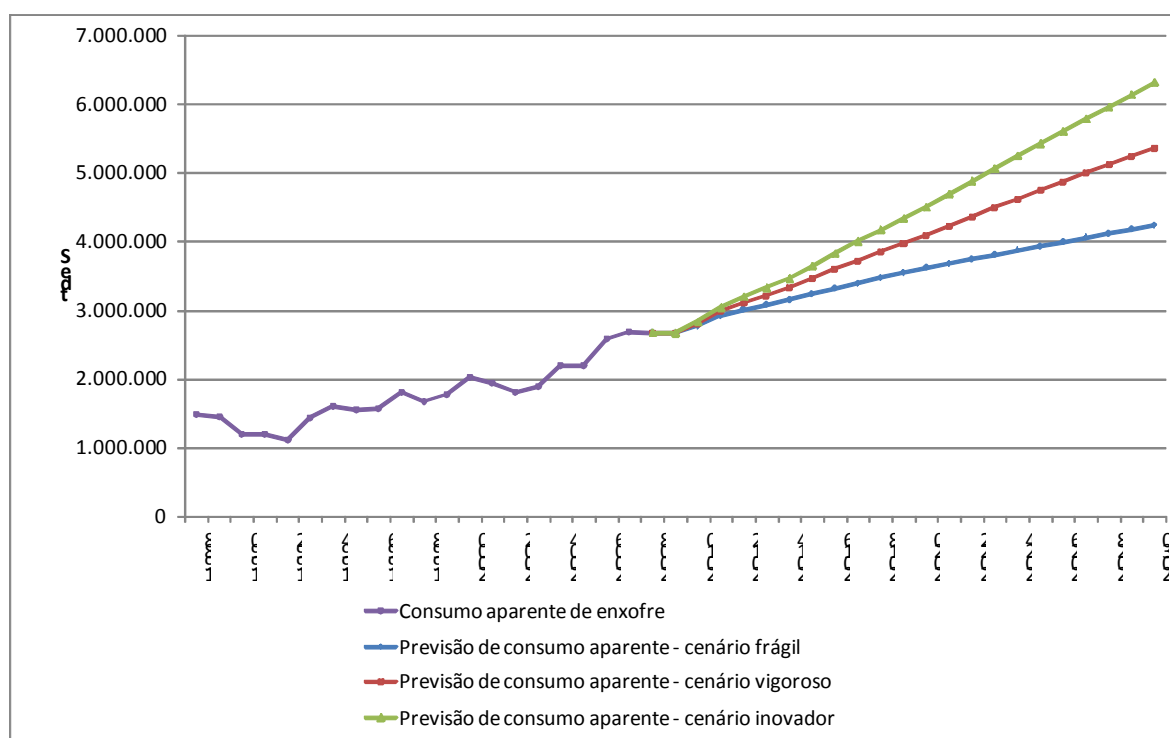
Fonte: Elaboração própria a partir de dados primários do MINERALdata (2009) e SMB.

### 4.3. Projeção de consumo de 2010 a 2030

A projeção de consumo de 2010 a 2030 (total e *per capita*) considera três macro-cenários para a evolução da economia: o cenário 1, designado por Frágil, com 2,3 % de crescimento médio anual, o cenário 2, designado por Vigoroso, que 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. Nas projeções se considerou 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. Destaca-se também, na tabela a seguir, os períodos quadrienais coincidentes com os PPA's do governo federal (para maior detalhe sobre a metodologia utilizada para todos os RT's do PDGMT, consultar o Anexo A.I.5).

As necessidades futuras em enxofre estão apresentadas a seguir.

**Gráfico 7 – Consumo aparente de enxofre, Projeções 2010-2030.**



Fonte: SMB; MME/DNPM (2009).

O consumo de enxofre projetado entre 2010 e 2030 aumenta a quantidade de consumo aparente em 2030 cerca de 50% no cenário frágil, 100% no cenário vigoroso e aumenta 150% no cenário inovador, mostrando a existência de grandes desafios pela frente.

Uma tabela com as quantidades projetadas e a produção efetiva em 2008 é apresentada em seguida.

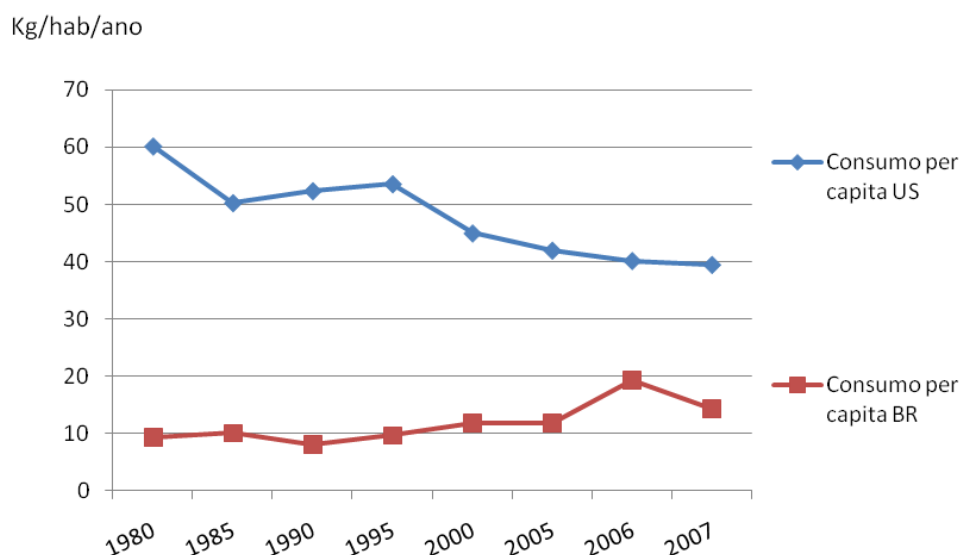
**Tabela 7 - Projeções do consumo aparente do enxofre no Brasil - 2010-2030 – em t de S.**

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
Períodos quadriennais dos PPA's no ano final				
2008-2011	2011	2.904.489	2.972.900	3.028.992
2012-2015	2015	3.226.090	3.448.146	3.634.000
2016-2019	2019	3.537.294	3.962.562	4.326.141
2020-2023	2023	3.796.596	4.484.142	5.055.056
2024-2027	2027	4.044.829	4.987.912	5.772.187
2028-2031	2030	4.228.452	5.350.335	6.306.099

Fonte: SMB; MME/DNPM (2009).

Quanto à evolução do consumo por habitante de enxofre no Brasil e nos Estados Unidos está apresentada no gráfico seguinte.

**Gráfico 8 - Evolução do consumo por habitante de enxofre no Brasil e nos EUA.**

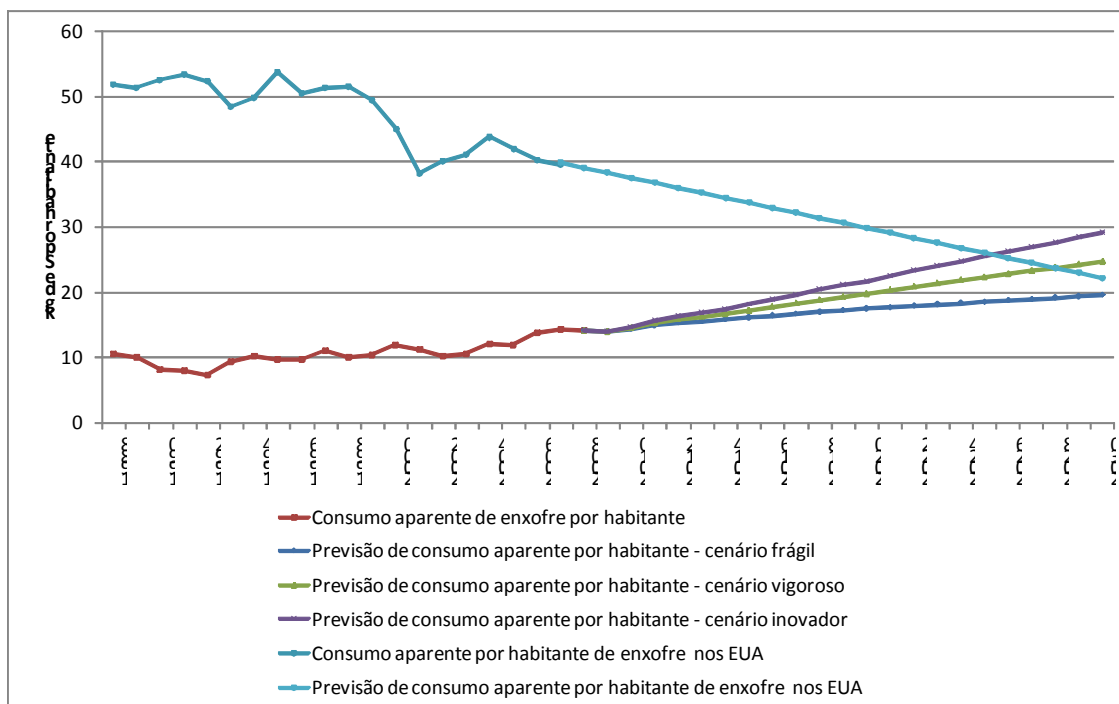


Fonte: BR - consumo aparente (SMB) e população (IBGE), EUA – consumo aparente (USGS) e população (U.S. Census Bureau, Current population reports).

No Brasil tem-se hoje um consumo por habitante de 14 kg/hab, quando na década de 1980 era 50% menor, e nos EUA, esse consumo equivalente ao atual do Brasil deu-se na década de 40 e, em 2008, é de cerca de 40 kg/hab, mas na UE-27, é de 9 kg/hab, sendo ainda o consumo mundial de 10 kg/hab (USGS, 2008b; UE, 2009; UN, 2009).

O Gráfico mostra ainda que, para os mais de 25 anos da série apresentada, vai sensivelmente diminuindo a distância entre os consumos por habitante nos dois países. Como veremos a seguir, antes de 2030 os consumos por habitante dos EUA e do Brasil se igualam.

**Gráfico 9 – Consumo aparente de enxofre por habitante, Projeções 2010-2030.**



Fonte: SMB (2008); MME/DNPM (2009); IBGE (2008); U.S. Census Bureau (2008).

O gráfico é auto-explicativo quanto aos resultados da projeção, o consumo por habitante dos EUA desce sempre ao longo do período de 2010-2030, enquanto as projeções para o consumo por habitante para o Brasil aumentam, se cruzam em 2025, evidentemente que primeiramente para o cenário vigoroso.

Conforme referido anteriormente, a substituição do enxofre por outra fonte é impensável, de momento o enxofre vai sendo aceleradamente recuperado ano após ano dos combustíveis, e o que se buscam são novas utilizações.

## 5. PRODUÇÃO MINERAL

### 5.1. Panorama mundial

Cerca de 69 milhões de toneladas de enxofre são produzidas anualmente no mundo, em todas as suas formas, para serem consumidos pela indústria mundial. O enxofre, segundo uma série longa publicada pelo USGS, teve um crescimento notável nos últimos 100 anos, (de 1900 a 2008), em 1900, sua produção mundial era apenas de 1,4 milhões de toneladas, em 1950, era de 10,8 milhões de toneladas e, em 2000, de 59,3 milhões de t, para finalmente em 2008 atingir 69,5 milhões de t.

Segundo o *Minerals Yearbook* (USGS, 2008c), a produção mundial pode ser dividida em voluntária (*discretionary*) e forçada (*nondiscretionary*). Na produção voluntária, a mineração do enxofre é o único objetivo da exploração; por exemplo, uma mineração e beneficiamento de piratas, que explora economicamente uma jazida pontual. Já na produção forçada, o enxofre ou o ácido sulfúrico é recuperado, ou ainda pode ser (co-) produzido, estando completamente atrelada a especificações, normas do produto e ritmo de produção do produto principal.

A produção voluntária de enxofre nativo diminui a cada ano, representando atualmente apenas 2% da produção mundial, sendo a Polônia o único país produtor importante, com pequenas

quantidades de enxofre nativo sendo produzido na Ásia, Europa e América do Sul. Quanto à produção mineral a partir das piratas, sua importância decresceu significativamente, e a China é o único país dentre os principais produtores mundiais em que esta é a fonte principal. Dos 25 principais países produtores, 18 obtêm a sua produção a partir do enxofre recuperado.

A partir da entrada no século XXI, passou a ser obrigatoriamente recuperado, principalmente com a extração de combustíveis (petróleo e gás natural), estrategicamente viabilizada através de regulamentações, sendo na atualidade a fonte primordial da produção do enxofre. Em 2009, excetuando a China (com metade da sua produção a partir das piratas), a produção agregada de todos os outros países provém predominantemente do enxofre recuperado do processo de refino de petróleo e do gás natural, representando mais de 80% e adicionando a recuperação no beneficiamento de metais, temos mais de 98% da produção mundial.

Entretanto, nos Países Desenvolvidos, salienta-se a peculiaridade da obtenção do enxofre, nos dias de hoje. Enquanto, muitos produtos de origem mineral são produzidos como produtos primários dos minérios ou como co-produtos do processamento mineral, o enxofre produzido atualmente nos Estados Unidos, desde 2000, o maior produtor mundial, muda drasticamente as suas fontes de obtenção de enxofre, para a recuperação forçada, visando a redução das emissões de SO<sub>2</sub> na atmosfera, provocadas pelas refinarias de petróleo, pelas emissões das metalurgias de não-ferrosos (principalmente as do refino de cobre) e para remover o sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) do gás natural. Está ainda sem uma solução consistente, o grande emissor poluidor na América do Norte, que é o carvão energético.

Os fazedores de política, os empresários de fertilizantes e os agricultores, nesta agenda do enxofre, combinam com a postura das ONGs defensoras do ambiente (como a Nossa São Paulo), que pleiteiam maiores restrições às emissões poluentes de S: - Quanto mais enxofre recuperado melhor para os nossos negócios, poderia ser o lema comum a todos.

Entretanto, o *ranking* dos 100 países do mundo, do *International Fuel Quality Center - IFQC*, um índice construído a partir das políticas de cada país sobre a erradicação do diesel e sua efetiva implementação, da gradação (para o primeiro lugar) de uma gasolina mais limpa para a mais suja (o último lugar), dá ao Brasil a posição de 67º lugar, um lugar na cauda da classificação, atrás da Índia (51º) e da China (63º). Na América Latina, o Chile (47º), o México (43º) e a Costa Rica (59º) têm posições bem melhores. Os três primeiros lugares são ocupados pela Suécia, Alemanha e Japão e os EUA ocupam o 34º lugar (NOSSA SÃO PAULO, 2009).

Em seguida, apresenta-se uma tabela com a produção mundial a partir de todas as formas do enxofre, destacando-se os principais países produtores.

Destacam-se como grandes produtores, os Estados Unidos da América, Canadá, China e Rússia, que representam cerca de 45 % da produção mundial. Nos Estados Unidos, a produção se distribui entre enxofre recuperado do petróleo e gás (92%) e o obtido como co-produto dos produtores de ácido sulfúrico (8%), principalmente do refino de cobre (85%), mas também de zinco, chumbo e molibdênio (15%). O Brasil é um inexpressivo produtor mundial, ocupa o 27º lugar no *ranking* dos produtores.

Os maiores países exportadores do mundo são (por ordem decrescente): o Canadá, Rússia, Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos, Cazaquistão, Japão e Irã, representando mais de 70% da produção mundial. Como principais países importadores, temos a China, Marrocos, os EUA, a Tunísia, a Índia e o Brasil. Em 2008, a produção mundial apresentou um pequeno crescimento anual, de apenas 0,9%, com os quatro principais produtores mundiais a crescerem menos ainda. Já em 2007 a produção mundial de enxofre cresceu à expressiva taxa de 10%, demonstrando as necessidades adicionais decorrentes da demanda aquecida por alimentos e biocombustíveis em dezenas de países.

**Tabela 8 – Produção mundial de enxofre (em mil t de S).**

Países	2007	2008e	% do total
Brasil	480	490	0,7
Estados Unidos da América	9.090	9.200	13,3
Canadá	8.967	8.800	12,8
China	8.460	8.500	12,3
Rússia	7.050	7.100	10,3
Arábia Saudita	3.100	3.200	4,6
Japão	3.200	3.200	4,6
Cazaquistão	2.600	2.600	3,8
Alemanha	2.300	2.500	3,6
Emirados Árabes Unidos	1.950	2.000	2,9
México	1.700	1.800	2,6
Coreia, República da	1.690	1.700	2,5
Chile	1.573	1.600	2,3
Irão	1.570	1.600	2,3
França	1.306	1.300	1,9
Polônia	1.324	1.300	1,9
Índia	1.152	1.200	1,7
Austrália	950	950	1,4
Venezuela	800	800	1,2
Itália	740	740	1,1
Kuwait	700	700	1,0
África do Sul	641	650	0,9
Finlândia	615	615	0,9
Espanha	601	600	0,9
Holanda	530	530	0,8
Uzbequistão	520	520	0,8
Outros Países	5.230	4.710	6,8
Total Mundial	68.400	69.000	100,0

Nota: 2008e - produção estimada.

Fonte: USGS (2009a), MME/DNPM (2009), para os dados do Brasil.

Em seguida, apresentam-se as expectativas futuras e analisa-se o comportamento da produção mundial nos últimos três anos. Segundo o USGS (2009a e 2009b), o comportamento do mercado, tanto em 2009, quanto no futuro, nas previsões para os anos seguintes, no contexto da crise mundial e interna dos EUA, são de uma estagnação ou mesmo pequena queda na taxa de crescimento da produção norte-americana de enxofre, cuja utilização está apenas relacionada com uma demanda rotineira agrícola e dos biocombustíveis. Prevê ainda, que a produção de etanol, após dois anos de expansão muito rápida, começará a declinar, porque será substituído pela produção de biocombustível chamado de segunda geração, baseado por exemplo, entre outros, na celulose.

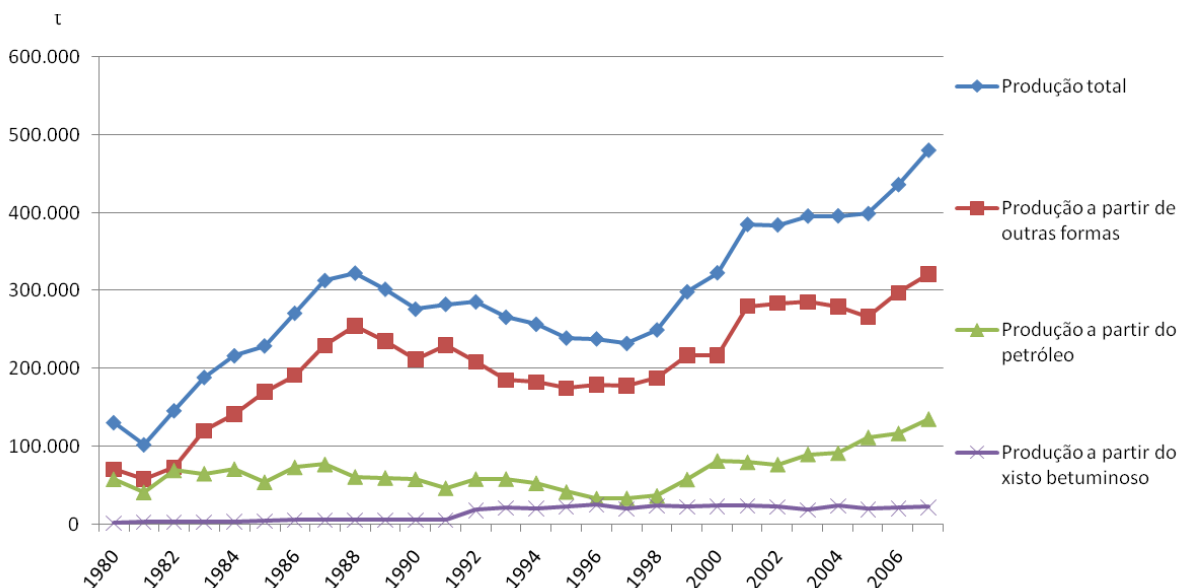
## 5.2. Produção brasileira

A produção brasileira de enxofre provém basicamente de três fontes: como co-produto na produção de xisto betuminoso, na recuperação do gás natural e do residual das refinarias, no processo de sulfetos metálicos transformado em ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e na tabela seguinte, tem-se uma série histórica. O peso do enxofre dos processos de beneficiamento que foi sempre a fonte mais importante estaciona (teve um pequeno aumento) e o recuperado do petróleo e gás aumenta, demonstrando a importância crescente da recuperação forçada.



No gráfico a seguir apresenta-se uma série longa da produção de enxofre a partir de 1980, onde se destaca um aumento da produção nos últimos anos (a partir de 2006) embora claramente insuficiente para as necessidades do consumo brasileiro.

**Gráfico 10 – Evolução da produção brasileira de enxofre (t de S).**



Nota: a produção a partir de outras formas é a obtida nas plantas industriais de Cu, Zn, Ni e Au.  
Fonte: MINERALdata (2009) / dados primários do SMB.

A situação atual do enxofre é complicada, pois o seu consumo depende em 88% das importações: do consumo aparente verificado em 2008 de 2.666.666 t apenas 480.000 t são obtidos por produção interna.

### 5.3. Projeção (cenários) de produção de 2010 até 2030

As projeções para a produção de enxofre, entre 2010 e 2030, é apresentada numa tabela a seguir, segundo os três cenários para o comportamento do PIB brasileiro. (Anexo A.I.5.).

Na realidade o exercício de projeção aqui realizado, é muito simples. Em primeiro lugar colocar na Projeção da produção uma hipótese de autosuficiência, mesmo que para o final do período, é uma impossibilidade, dado o fosso existente entre a atual produção e o consumo. Acrescente-se que, quem quiser saber o quanto seria necessário para zerar esse descompasso lhe bastaria fazer uma simples subtração (relembrar que em 2008 a produção foi de 490.000 t para o consumo de 2.666.666 t). Em segundo lugar, embora se tenha conseguido um arrolamento razoável de todos os principais projetos em curso, a adição de capacidade para o enxofre/ácido sulfúrico em cada projeto, que é um co-produto das produções de metais e forçada no petróleo, verificou-se impossível de consolidação. Até para a produção futura da Petrobras para atender às exigências ambientais, que têm uma rigorosa especificação para o combustível por parte da ANP, não foi localizado nenhum relatório ou estimativa.

Assim optou-se entre duas únicas hipóteses que sobraram: ou considerar completamente prejudicada a Projeção da Produção entre 2010 e 2030 ou apresentar uma Projeção muito simples mas a possível, a utilização do atual percentual de quanto representa a produção nacional em relação ao consumo aparente. Ou seja, um percentual de 18% entre a produção e o consumo que foi verificado em 2008, a ser aplicado em cada ano da série.

Mesmo com um alvo tão pouco exigente, manter o mesmo coeficiente de dependência, os resultados das projeções da produção, que se apresentam a seguir, significam uma tarefa vultosa porque os projetos que conhecemos, que estão relatados neste RT, mesmo com pouca quantificação, se podem avaliar que não dão conta.

**Tabela 9 - Projeções da produção do enxofre - 2010-2030 – em t de S.**

Produção (t)	490.000 t		
Cenários	2008	2008	2008
	Frágil	Vigoroso	Inovador
Crescimento do PIB	2,3 % a.a.	4,6% a.a.	6,9% a.a.
Produção (projetado) 2010	497.281	503.393	508.423
Produção (projetado) 2030	761.312	963.301	1.135.382
Períodos quadriennais dos PPA's ano final			
2008-2011 2011	522.939	535.256	545.355
2012-2015 2015	580.841	620.822	654.284
2016-2019 2019	636.872	713.440	778.900
2020-2023 2023	683.558	807.347	910.138
2024-2027 2027	728.251	898.049	1.039.253
2028-2031 2030	761.312	963.301	1.135.382

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

#### 5.4. Novos projetos

Numa análise qualitativa sobre as novas fontes de obtenção de enxofre nos próximos 20 anos, as fontes mais promissoras parecem ser o enxofre recuperado para atender às leis ambientais cada vez mais exigentes, as novas frentes de petróleo e gás natural no país, incluindo o campo de Júpiter, no pré-sal, na Bacia de Santos, que irá entrar em funcionamento a curto prazo. Ainda segundo a Petrobras, em junho de 2008 a carga de petróleo processada deverá passar dos atuais 1,8 milhão de barris, para 2,3 milhões em 2013 e 3,0 milhões em 2020, com um aumento médio anual de 4,8%, com novas refinarias, em construção, entrando em produção. Ainda estão em estudos projetos para a implantação de outras refinarias para atender ao pré-sal. (CLICK MACAÉ, 2009).

Para os próximos cinco anos, o petróleo apenas viabilizará uma pequena substituição nas vultosas importações brasileiras de enxofre, esperando-se uma recuperação maior, duplicando a sua obtenção, quando da redução do teor de enxofre na gasolina e do diesel para 50 ppm, prevista gradativamente para abastecer todo o parque automotivo brasileiro, entre 2009 e 2012. O diesel S-50 tem 50 partes por milhão (ppm) de enxofre, o que corresponde a uma concentração de 0,005% desse componente no diesel. O diesel anterior, S-500, tinha 500 partes por milhão de enxofre, correspondendo a uma concentração de 0,05% desse componente no diesel para áreas urbanas e S-1800 para áreas rurais. O diesel produzido no país tem cronograma já definido para a diminuição do seu teor de enxofre, entrada gradual do S-50 e o compromisso de introdução do diesel S-10 a partir de 2013. Quanto ao gás natural, saliente-se que os dados sobre SO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S e medidas concretas para a sua redução, infelizmente desconhecem-se.

Os Estados Unidos que durante o período Bush relutaram muito em aplicar medidas ambientais e não assinaram o Protocolo de Kioto, apresentam avanços muito mais marcantes do que os brasileiros, o diesel ultraleve (ULSD) com 15 partes por milhão de enxofre será completamente introduzido até 2010, enquanto já está totalmente implantado o diesel com 22 ppm. Na UE – União Européia, há novas leis para o transporte marítimo, reduzindo drasticamente o teor de enxofre no combustível, com diminuição progressiva até janeiro de 2010 de 2,7% para 0,1%.

A Petrobras iniciou bem recentemente, em 2009, a produção do diesel S-50 na Refinaria de Duque de Caxias - REDUC, no Rio de Janeiro. A produção ocorre através de uma unidade de hidrotreatamento, que extrai o enxofre a partir de reações químicas envolvendo, principalmente, o hidrogênio. O diesel produzido é em seguida bombeado para as principais bases distribuidoras localizadas na região metropolitana do Rio de Janeiro. Desde janeiro de 2009, nas outras regiões metropolitanas das capitais dos estados sob orientação do Ministério do Meio Ambiente - MMA, a Petrobras disponibiliza o diesel S-50, para os ônibus urbanos de São Paulo, Fortaleza, Recife e Belém, devendo a substituição ocorrer nas demais capitais até 2010 e no interior até 2013. Mas os motores atuais da frota de ônibus não são ainda adequados, só reduzindo em 12% as emissões e somente em 2013, serão substituídos. A Petrobras estima em US\$ 8,5 bilhões, até 2012, os gastos de investimento para a melhoria da qualidade dos combustíveis, inclusive a implantação de unidades de hidrotreatamento em nove refinarias, destinadas à redução do teor de enxofre do diesel (O GLOBO, 2009).

Mais promissora será a ampliação da recuperação de enxofre, através da produção acrescida a partir de 2013 com o S-10, ou seja, com um máximo de 10 partes por milhão de enxofre. A gasolina dos automóveis tem a data de 2014 para a completa implantação das unidades de tratamento nas refinarias.

A Petrobras-SIX tem realizado investimentos em São Mateus/PR para aumento da capacidade de recuperação de enxofre, principalmente nas usinas de reciclagem de pneus e borracha. Acredita-se que, com os investimentos aplicados, haverá um incremento da produção de enxofre a partir do folhelho, após 2009 (PETROBRAS, 2009c).

Em relação ao enxofre produzido pelos processos de beneficiamento como co-produto de metais, as estimativas das quantidades adicionais em curso de implantação (ampliação ou novo projeto) são de que aumente a (co-)produção de enxofre, mas há ao mesmo tempo o perigo de que aumente o consumo interno de ácido sulfúrico nestes grupos metalúrgicos.

Apresentam-se, em seguida, os investimentos atualmente em curso para a ampliação da capacidade produtiva, segundo informações fornecidas pelas mesmas às publicações Brasil Mineral e Minérios, além das obtidas no SMB e em Albuquerque (2008):

✓ A AngloGold, concluiu um projeto de US\$ 210 milhões, de 2005 a 2007, expandiu a Mina Cuiabá/Sabará (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 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 de ustulação na unidade metalúrgica de Queiroz. Foram produzidas, em 2007, 189.209 t.

✓ 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, 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 há gasto de ácido sulfúrico para a lixiviação da pilha de rejeitos. Investimentos de US\$ 254 milhões até 2012.

- ✓ A Votorantim Metais pretende ampliar a sua 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 (AS MAIORES, 2009; 200 Maiores, 2009; SMB).

Deve-se referir que também existem novos projetos de produção de minerais metálicos que utilizam o enxofre (ácido sulfúrico) como um insumo necessário ao seu processo produtivo, sendo consumidores do mesmo. São todos da Vale, sendo cinco projetos de cobre e um de níquel, todos localizados no Pará, que:

- ✓ Demandarão o uso adicional de enxofre, ampliando as importações, como a partir de 2009, no caso do projeto Corpo-118, (45 mil toneladas de Cu), lixiviação em pilha obtendo o catodo de cobre, importando 90 mil t/ano de enxofre. Ainda existem os projetos de cobre do Alemão e Salobo e finalmente o projeto de níquel do Vermelho da Vale, previsto para entrar em produção em 2009, demanda 350 mil t/ano de enxofre a granel.
- ✓ Exportarão um produto sem que o metal obtido e o enxofre nele contido seja retirado, como no caso do projeto Sossego e o projeto Cristalino, na forma de concentrado de sulfeto de cobre (ALBUQUERQUE, 2008).

Ainda, encontra-se 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. 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 proximidade entre o município e a região produtora de carvão, cerca de 120 km (SMB).

Por último tem-se um recente projeto de pequeno porte na cadeia de NPK, do grupo canadense Yamana que adquiriu a empresa Itafós. Irá ainda instalar em Novo Horizonte – GO, um complexo químico industrial para a produção de ácido sulfúrico, aproveitando os 580.000 t/ano de concentrado de pirita recuperado dos rejeitos de minério de cobre, obtendo também ouro e cobre. O concentrado de rocha 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 – GO 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, 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, da produção de fertilizantes fosfatados, vão criar novas plantas produtoras de ácido sulfúrico, que demandarão, evidentemente, uma maior quantidade de enxofre.

**Tabela 10 - Relação de projetos de investimento (2008-2013) de ácido sulfúrico.**

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 <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		

Nota: (1) Estágio do projeto: A = Aprovado/em andamento, B = Planejado/ em estudo.

Fonte: ABIQUIM (2009a), AS MAIORES (2009).

## 6. RESERVAS MINERAIS

### 6. Panorama mundial

O USGS afirma, o que é correto, que ao exemplo de outras substâncias abundantes, veja-se o calcário e não só, as reservas de enxofre contidas no petróleo, gás natural e minérios sulfetados são extensas, mas sendo impraticável a sua mensuração, convertida para enxofre e ainda a desagregada por países, mas sendo inquestionável que a sua oferta mundial futura está assegurada (USGS, 2009a). Entretanto, após esta explicação, o SMB - Sumário Mineral Brasileiro de 2008 continua a divulgar as estatísticas mundiais de 2001, que foi o último ano em que o *Mineral Commodity Summaries* publicou estatísticas de reservas minerais por países.

Os recursos mundiais totalizam cerca de cinco bilhões de toneladas de S contido, computadas todas as suas origens, associados ao petróleo e gás natural, aos sulfetos metálicos de cobre, zinco, molibdênio e ferro, associados a evaporitos, na forma de elemento nativo nos depósitos em rochas sedimentares deformadas e vizinhas a domos salinos, depósitos de origem vulcânica e arenitos betuminosos. Indica ainda como os maiores países detentores de reservas, o Iraque, Canadá, Espanha, Polônia, China, Estados Unidos, Arábia Saudita e México. Ao carvão, ao folhelho betuminoso e aos folhelhos ricos em matéria orgânica estariam associados 600 milhões de toneladas. Refere ainda a origem do enxofre a partir de depósitos de anidrita e gipsita que teriam “volume inestimável”, embora com restrições tecnológicas à sua extração e aproveitamento (USGS, 2009a). Mais uma vez fica claro que a queima de combustíveis fósseis, muito dramaticamente o carvão, mas também a gasolina e o diesel, liberam ainda uma enorme quantidade de dióxido de enxofre para o ambiente e a principal tarefa mundial nesta área é recuperar o enxofre, diminuindo as suas emissões para o ambiente.

Como já mencionado, o enxofre é um subproduto do gás natural e das refinarias de petróleo, de rochas betuminosas e de carvão. O gás sulfídrico ocorre como um componente do gás natural em várias partes do mundo. Para que o gás natural seja aproveitado, o sulfeto de hidrogênio precisa ser removido, o que o faz um necessário subproduto. No caso do petróleo, de rochas betuminosas e do carvão, eles apresentam compostos orgânicos complexos sulfurados em uma larga gama de concentrações, que durante o processo de refino ou queima são removidos, sendo o enxofre recuperado na sua forma elementar. Os principais depósitos de gás natural contendo gás sulfídrico ocorrem no oeste do Canadá, Oriente Médio e ex-URSS, além dos Estados Unidos, México, França, Alemanha e Venezuela.

## 6.2. A situação atual e sua localização no Brasil

Não se conhecem reservas no Brasil de enxofre nativo, e de 1972 em diante, existiu uma pequena obtenção regular de enxofre a partir do folhelho betuminoso. O Brasil tem importantes reservas de petróleo e gás natural (sem se falar da recente descoberta do pré-sal) e ainda significativas reservas de folhelho betuminoso, controlados pela estatal brasileira Petrobras, mas esta fonte assegura apenas pequena parte do enxofre que o Brasil necessita em todos os seus estratégicos usos (5% do total do consumo aparente anual em 2008).

Não se conhece fonte publicada que tenha calculado o enxofre contido nos recursos minerais energéticos brasileiros, entretanto, depende do ritmo de extração do petróleo e ainda do seu grau de agregação de valor no refino do Brasil (as novas refinarias programadas e em implantação), antes de sua comercialização para o mercado, pois é no refino que se dá a obtenção de produção forçada de enxofre. Assim, quantidades crescentes de enxofre serão recuperadas para atender, ao longo dos próximos anos, a critérios mais rigorosos de baixos teores de enxofre, nos combustíveis da frota viária nacional, para aliviar o ambiente.

Segundo os números oficiais, o Brasil detém apenas 1,2% das reservas mundiais (medidas mais indicadas), calculadas pelo SMB em 49,0 milhões de toneladas de S contido, sendo um somatório apenas das duas substâncias: enxofre (co-produto); xisto e outras rochas betuminosas (não se computando os teores contidos de S das reservas de petróleo e gás natural):

- ✓ Enxofre, com reservas oficiais (medidas mais indicadas) de 1,9 milhão de toneladas de S contido, a partir das jazidas onde existe em produção do beneficiamento de chumbo (sulfetos de chumbo (galena – PbS) e de zinco (blenda – ZnS) em Minas Gerais, Morro Agudo, no Município de Paracatu, estimam-se as reservas destes em 748.021 toneladas de S, ouro em Minas Gerais, reservas de 748.021 toneladas de S; e cobre, em Jaguarari, Bahia, com 35.061 toneladas de S. Ainda existe o níquel em Fortaleza de Minas. Finalmente enxofre como subproduto do beneficiamento do carvão em Lauro Muller/Santa Catarina.
- ✓ Xisto e Outras Rochas Betuminosas, desde 1972, com reservas totalizando 47,1 milhões de toneladas de S contido, da Formação Irati, folhelho betuminoso localizado no Rio Grande do Sul (municípios de Cachoeiro do Sul, Encruzilhada do Sul, Gravataí, Osório, Rio Pardo e Viamão), onde se concentram 95% das reservas oficiais (medidas e indicadas) brasileiras desta substância (SMB, 2009 e ALBUQUERQUE, 2008).

O Brasil detém ainda, todos não explorados, grandes depósitos estratiformes da bacia sedimentar de Sergipe, município de Siriri, localidade de Castanhal, com um teor médio de 7,1% de S, descobertos em 1978 pela Petromisa, subsidiária da Petrobras, e expressivos depósitos de enxofre oriundo das pirritas (FeS<sub>2</sub>), rejeitos pirritosos do carvão mineral, localizados na Bacia do Paraná, as pirritas de Ouro Preto e ainda o enxofre contido nas reservas de gipsita. Finalmente, novos projetos em ouro, cobre e zinco, quando de sua entrada em produção, poderão adicionar mais reservas ao enxofre brasileiro (ALBUQUERQUE, 2008).

Entretanto a maior aposta brasileira no enxofre está nas novas refinarias já em implantação, que se prevê um aumento de 30 % da capacidade nacional, nas novas descobertas pelo país e ainda em petróleo e gás natural na Bacia de Santos, no pré-sal.

### 6.3. Relação produção/reserva

Apesar das reservas provadas significativas, sendo o enxofre obtido como subproduto das metalúrgicas de diferentes metais, do petróleo e ainda do xisto betuminoso, não são suficientes para atender às necessidades do consumo brasileiro existente. Há uma dependência quase integral do enxofre importado.

As expectativas qualitativas para o futuro não são assim nada animadoras, tanto mais que está em curso um grande programa de produção de etanol e de biocombustíveis, sem que, até o presente, se tenha implementado com clareza uma estratégia de governo, com metas precisas na sua execução, mesmo tendo sido concluídos, no âmbito da SGM do Ministério de Minas e Energia, estudos aprofundados e extensas recomendações de implementação de políticas.

### 6.4. Potencialidades e identificação de áreas vocacionadas

O enxofre obtido a partir do petróleo poderá no futuro se constituir na fonte interna principal da produção brasileira, mas existe um trajeto longo até que se concretize.

### 6.5. Quantificação da necessidade de adição de reservas para a produção

As condições geológicas brasileiras para a ocorrência de novas jazidas são consideradas baixas e, assim sendo, não se sugere esforços prioritários, centrados na descoberta de fontes nativas de enxofre, com pesquisa mineral especializada, sejam alocadas para esta substância. Aliás, essa tem sido a tendência da pesquisa geológica internacional que não busca mais, há bastantes anos, novas jazidas nativas.

Entretanto a obtenção de enxofre a partir de outras fontes, como a distribuição forçada de combustível mais limpo, apertando as especificações dos produtos, ao diminuir o teor mínimo admissível do enxofre e não protelando prazos acordados, parece ser um paliativo, embora nada desprezível. Também a entrada de novos empreendimentos minerais com beneficiamento de metais associados à obtenção no processo de ácido sulfúrico parece estar se ampliando no País.

## 7. TECNOLOGIA

As tecnologias em uso no Brasil são as praticadas em outros países há algum tempo. No petróleo, gás natural e coquerias, utiliza-se o processo Klaus e transforma-se  $H_2S$  em enxofre elementar. Os custos de sua obtenção são comparativamente bem menores do obtido pelo método *Frasch* tradicional, mas como os poços estão geralmente localizados longe dos centros consumidores, o custo de transporte pesa no preço final. Também sendo um produto de produção involuntária, um co-produto o custo de produção a imputar depende das práticas contábeis. Nos xistos ou folhelhos betuminosos, tem-se a retortagem, mas a sua extração movimenta grandes quantidades de material, liberando fortes emissões de particulados na lavra, conflitando com normas ambientais já bem estabelecidas (ALBUQUERQUE, 2008).

Na metalurgia, sendo obtido diretamente o ácido sulfúrico (e não o enxofre primário), a partir da ustulação de sulfetos de Cu, Zn, Ni, Mo, Au, pirita e outros minérios sulfetados, que podem ser:

✓ Sulfetos de ferro (pirita, marcassita e pirrotita), com baixos teores de diversos metais não-ferrosos, e que são geralmente minerados pelo seu conteúdo de enxofre. Os concentrados de pirita, com 40% a 50% de enxofre contido, são ustulados para produzir o gás  $SO_2$ , que então é transformado em ácido sulfúrico. No Brasil, a experiência da ICC, recuperando o enxofre das piritas encontradas em várias concentrações nos depósitos de

carvão, e que compõem os rejeitos de sua mineração, demonstrou sua viabilidade por certo período. Esta fonte tem sido considerada uma alternativa para a obtenção do enxofre em várias partes do mundo.

- ✓ Sulfetos de metais não-ferrosos (sulfetos de zinco, cobre, chumbo, molibdênio, níquel, ouro e outros), que são minerados pelo conteúdo desses metais, sendo que o enxofre, recuperado na forma de ácido sulfúrico, pode ser retirado tanto das piratas que se concentram no rejeito do tratamento daqueles sulfetos, quanto através da dissolução dos gases (SO<sub>2</sub>) expelidos no processo metalúrgico (ALBUQUERQUE, 2008 e USGS, 2008c).

Outra potencial fonte de enxofre são os depósitos de sulfatos, incluindo aqueles de anidrita, gipsita e os rejeitos de fosfogesso produzidos junto às fábricas de ácido fosfórico em todo o mundo. Esses materiais representam uma das maiores e também das mais inexploradas fontes de enxofre. Nos processos de recuperação conhecidos, o gesso e a anidrita são decompostos por métodos químicos e pirometalúrgicos, produzindo ou enxofre elementar ou ácido sulfúrico. Geralmente esses processos estão associados à obtenção de cal como subproduto, que normalmente é utilizada na fabricação de cimento. Esses vários métodos, porém, são ainda considerados de alto custo, mesmo quando associados à produção de cimento, e têm encontrado aplicação limitada, principalmente na Europa e na África do Sul.

## 8. RECURSOS HUMANOS

Sendo o enxofre obtido por (co-) produção ou por recuperação em outros produtos não existem estatísticas separadas.

## 9. CONCLUSÕES

O enxofre é um exemplo típico de um minério insuficiente brasileiro, o País é (e sempre foi) altamente dependente das importações para atender ao seu consumo.

Entretanto, razões legais de caráter ambiental exigem combustíveis mais limpos e o enxofre que é captado pela Petrobras a partir do tratamentos dos combustíveis tem crescido muito nos últimos anos, a exemplo do que ocorre em países desenvolvidos. Neles, o enxofre obtido desta forma é a fonte principal de abastecimento, sendo até mesmo superabundante, buscando-se atualmente novas aplicações para o seu escoamento.

Não se espera nenhuma descoberta de fonte nativa de enxofre no Brasil, nem se recomenda a sua priorização, dada a improbabilidade de sua ocorrência. Mas espera-se que a entrada em produção do petróleo e gás natural oriundo de diversas regiões do país e a obrigatoriedade de uso no Brasil de combustíveis cada vez menos sujos, estimulem a aumento substancial da produção interna como co-produto a partir do petróleo e gás natural, a par de outros projetos previstos para entrarem em execução de metais sulfetados.

Apesar do constante acréscimo da produção de enxofre forçado pelas novas normas ambientais, com um aumento de mais de 50% sobre a produção atual nos próximos cinco anos, (atingindo a marca de cerca de 200 mil t/ano), esta fonte continuará a representar apenas 8% das necessidades atuais.

A tendência futura de preços internacionais aponta para uma oscilação de preços um pouco acima dos valores históricos, entre um mínimo de US\$ 60/t e um máximo de US\$ 80/t, a mesma previsão genérica para o pós-crise mundial, que é feita, por alguns analistas otimistas, para as outras substâncias minerais.



Mas especialistas em combustíveis prevêm, em um horizonte de mais longo prazo, uma queda nos preços do enxofre, devido ao acréscimo significativo na produção mundial forçada de enxofre, causado pela implantação efetiva, que está a decorrer em muitos países do mundo, das medidas ambientais já pactuadas e ainda por novas medidas mais restritivas às emissões atmosféricas de SO<sub>2</sub>, o que traria no futuro um acréscimo significativo na oferta de enxofre e um grande desafio de obter usos adicionais.

Já atinge 90% da produção mundial a participação diretamente decorrente de medidas ambientais para a redução das emissões de SO<sub>2</sub> na atmosfera, algumas ainda estão sendo implementadas e novas restrições, vão ser, de novo, discutidas, aprovadas e implementadas, nos próximos anos. A indústria mundial do enxofre enfrenta como desafio muito peculiar, encontrar urgentemente novos usos para sua utilização, expandindo o seu consumo em mercados não tradicionais, face às quantidades cada vez maiores de sua obtenção.

Nos Países Desenvolvidos, há uma desaceleração lenta do consumo aparente de enxofre (e também de toda a cadeia do NPK). Estes são, concomitantemente, os maiores consumidores de combustíveis para sua frota automotiva e ainda de metais e materiais.

Na maioria dos países dos BRIC's (no caso a China, Índia e Brasil) e ainda nos países asiáticos, cresce fortemente tanto o consumo de enxofre, como a produção de *commodities* de alimentos e também as novas culturas para biocombustíveis, necessitando de matérias-primas fertilizantes adicionais e o enxofre é seguramente uma matéria-prima de base essencial. A América Latina e a Ásia, onde, respectivamente o Brasil e a China são preponderantes, com altas taxas de crescimento nos últimos cinco anos de 7,8% e de 28,5%, detêm apenas 36% do total do consumo mundial de enxofre.

O ano de 2006 foi marcado como o ano da especulação no mercado do enxofre. Os baixos preços no mercado internacional estimularam fortemente as importações para o Brasil, tanto na forma primária, como também de compostos químicos. O câmbio valorizado do real face ao dólar, também foi um fator muito favorável às importações. Foram importadas 3,1 milhões de toneladas de enxofre, 75% de aumento na quantidade, a produção interna com 9 % de crescimento em relação ao ano anterior, saldando-se um consumo aparente de 3,6 milhões de toneladas, cerca de 63,5% superior a 2005, dando portanto lugar a uma grande ampliação dos estoques e ao registro formal de um consumo aparente bem maior que o consumo efetivo. Já em 2007, os preços internacionais dispararam, mas o Brasil importou bem menos (-30%), tendo esses estoques de enxofre sido revendidos no mercado interno, com o preço remarcado, obtendo seus proprietários alto deságio (SMB, 2008).

O consumo de enxofre projetado para 2030, segundo os três diferentes cenários da economia, aumenta em cerca de 60% no cenário frágil, atinge um incremento de mais 100% no cenário vigoroso e passa par 150% no cenário inovador, mostrando a existência de grandes desafios pela frente.

No Brasil tem-se hoje um consumo por habitante de 14 kg/hab, quando na década de 1980 era 50% menor, e nos EUA, esse consumo equivalente ao atual do Brasil deu-se na década de 40 e, em 2008, é de 40 kg/hab, mas na UE-27, o consumo é muito baixo, de 9 kg/hab, sendo ainda o consumo mundial de 10 kg/hab

Segundo o USGS (2009b e a), o comportamento do mercado, tanto em 2009, quanto no futuro, nas previsões para os anos seguintes, no contexto da crise mundial e interna dos EUA, são de uma estagnação ou mesmo pequena queda na taxa de crescimento da produção norte-americana de enxofre, cuja utilização está apenas relacionada com uma demanda rotineira agrícola e dos biocombustíveis. Prevê ainda, que a produção de etanol, após dois anos de expansão muito rápida, começará a declinar, porque será substituído pela produção de biocombustível chamado de segunda geração, baseado por exemplo, entre outros, na celulose.

## 10. RECOMENDAÇÕES

Apesar das reservas provadas significativas, sendo o enxofre obtido como subproduto das metalúrgicas de diferentes metais, do petróleo e ainda do xisto betuminoso<sup>3</sup>, não são suficientes para atender às necessidades do consumo brasileiro existente. Há uma dependência quase integral do enxofre importado.

As expectativas qualitativas para o futuro não são assim nada animadoras, tanto mais que está em curso um grande programa de produção de etanol e de biocombustíveis, sem que, até o presente, se tenha implementado com clareza uma estratégia de governo, com metas precisas na sua execução, mesmo tendo sido concluídos, no âmbito da SGM do Ministério de Minas e Energia, estudos aprofundados e extensas recomendações de implementação de políticas.

As condições geológicas brasileiras para a ocorrência de novas jazidas são consideradas baixas e, assim sendo, não se sugere esforços prioritários, centrados na descoberta de fontes nativas de enxofre, com pesquisa mineral especializada, sejam alocadas para esta substância. Aliás, essa tem sido a tendência da pesquisa geológica internacional que não busca mais, há bastantes anos, novas jazidas nativas.

Entretanto a obtenção de enxofre a partir de outras fontes, como a distribuição forçada de combustível mais limpo, apertando as especificações dos produtos, ao diminuir o teor mínimo admissível do enxofre e não protelando prazos acordados, parece ser um paliativo, embora nada desprezível. Também a entrada de novos empreendimentos minerais com beneficiamento de metais associados à obtenção no processo de ácido sulfúrico parece estar se ampliando.

Sendo assim, no que diz respeito à maior produção interna deste insumo, a própria aplicação da legislação que limita a porcentagem de enxofre nos combustíveis comercializados no país, se implantada e estendida, representará um passo importante no sentido da auto-suficiência.

Por outro lado, o abastecimento a partir do mercado internacional superavitário por uma produção involuntária crescente pode ser mais bem aproveitado se houver uma melhora na logística interna ligada para recebimento nos portos e distribuição do produto.

Necessário se faz também um monitoramento mais global por parte de órgãos governamentais do setor de fertilizantes como um todo, cuidando para que não haja distorções e especulações excessivas, como a que ocorreu no biênio 2006/2007.

### **Agradecimentos**

Agradeço a atenção e informações gentilmente fornecidas por profissionais atuantes no setor de fertilizantes, com destaque para os senhores Eduardo Daher, da ANDA, Carlos Eduardo Florense, da AMA-BRASIL, e Roberto Busato Belger, da Fosfertil.

Além disso, e especialmente, agradeço a extensiva revisão do texto e grande número de sugestões e contribuições de Francisco Rêgo Chaves Fernandes, tecnologista sênior do CETEM – Centro de Tecnologia Mineral, economista pela Universidade de Lisboa, mestre e doutor em Engenharia Mineral pela EPUSP, pós-doutor pela Universidade do Porto, atualmente coordenador do Projeto FINEP Agrominerais para Biocombustíveis.

As projeções 2010-2030 foram realizadas por Eduardo Ogasawara, doutorando da

---

<sup>3</sup> Em recente estudo da MINEROPAR constata-se que a Petrobras nada paga de CFEM – Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais devida pela extração do xisto betuminoso, sendo este a segunda maior substância em volume extraída de Santa Catarina (DIAS, 2009).

COPPE/UFRJ de engenharia de sistemas de computação, especialista em bancos de dados, um dos idealizadores do IPEAdata e consultor do Projeto FINEP Agrominerais.

Entretanto, deve ficar claro que as opiniões, omissões e imprecisões do presente relatório são de inteira responsabilidade da autora.

## 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 200 MAIORES minas brasileiras. *Minérios & Minerales*. n. 320. São Paulo, 2009.
- ABIQUIM. Anuário da Indústria Química. Associação Brasileira da Indústria Química - ABIQUIM. São Paulo, 2008.
- ABIQUIM. Guia da Indústria Química 2009. Associação Brasileira da Indústria Química - ABIQUIM. São Paulo, 2009.
- ALBUQUERQUE, Gildo de Araújo Sá de; AZAMBUJA, Ronaldo Simões; LINS, Fernando A. Freitas. Capítulo 6 – Agrominerais: enxofre. In: LUZ, Adão B. & LINS, Fernando A. F. (Eds.). Rochas e minerais industriais. 2ª edição. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Rio de Janeiro, 2008.
- 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, 2006. 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 anos. São Paulo.
- AS MAIORES empresas do setor mineral. *Brasil Mineral*. Ano XXV. n. 287. São Paulo, jun. 2009.
- BUNGE FERTILIZANTES. Site, 2009. Disponível em: <<http://www.bungefertilizantes.com.br>>. Acesso em 12 jul. 2009.
- CLICK MACAÉ. Refinarias: investimento prioritário no setor *offshore*, 28 jun. 2009. Disponível em: <<http://www.clickmacae.com.br/?sec=47&pag=noticia&cod=7089>>. Acesso em 20 ago. 2009.
- CVM/IAN. Informações anuais. Fosfertil/Ultrafertil em 2008. Comissão de Valores Imobiliários - CVM. São Paulo, 2009.
- DIAS, Marcos Vitor Fabro. A Compensação Financeira pela Exploração Mineral no Paraná - 2004 a 2008. *Minerais do Paraná SA - MINEROPAR*, 2009.
- FOSFERTIL. Site, 2009. Disponível em: <<http://www.fosfertil.com.br>>. Acesso em 20 jul. 2009.
- GUJARATI, D. N.; Porter, D. C.. *Basic econometrics*. McGraw-Hill. New York, 2008.
- IBGE. 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, 2009.
- IFA. World sulphur: statistics by country, in 1000 tonnes P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Production and International Trade Committee. The International Fertilizer Industry Association – IFA. França. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org/>>. Acesso em 20 jul. 2009.
- IFC. Site, 2009. Disponível em: <<http://www.projetoanitapolis.com.br/paginas/historico.html>>. Acesso em 20 jul. 2009.
- J. MENDO/RT 01. 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, 2009.
- KULAI, Yara. A indústria de fertilizantes fosfatados no Brasil: perfil empresarial e distribuição regional. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. Série Estudos e Documentos - SED. n. 42. Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM\\_SED\\_42.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM_SED_42.pdf)>. Acesso em 29 jul. 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 03 jul. 2009.
- MME. Elaboração do Plano Duo-Decenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - PDGMT 2010/2030. Perspectiva Mineral. ano I. n. 1, 2009. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/publicacoes/Perspectiva\\_Mineral/Perspectiva\\_Mineral\\_n\\_1\\_07-julho-2009.pdf](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/publicacoes/Perspectiva_Mineral/Perspectiva_Mineral_n_1_07-julho-2009.pdf)>. Acesso em 1 ago. 2009.
- MME/DNPM. Prévia da indústria mineral 2009-2008. Ministério de Minas e Energia - MME.

- Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM. Brasília, 2009. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/publicacoes/Previa/Previa\\_da\\_Industria\\_Mineral\\_2009\\_2008.pdf](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/publicacoes/Previa/Previa_da_Industria_Mineral_2009_2008.pdf)>. Acesso em 2 ago. 2009.
- NOSSA SÃO PAULO. Nível de enxofre coloca Brasil em 66º no mundo, atrás da China e da Índia, 2009. Disponível em: <<http://www.nossasaopaulo.org.br/portal/node/2181>>. Acesso em 20 ago. 2009.
- O GLOBO. Petrobras prevê reduzir importação de diesel com baixo teor de enxofre. 27 abr. 2009.
- PARANAPANEMA. Mercado de sulfúrico 2007. Grupo Paranapamena/Caríba Metais Bahia, 2007. Disponível em: <[http://www.h2so4.com.br/h2so4/download/arquivos/5ocongressobrasileirodeacidossulfurico/V\\_Co bras-Caraiba-Mercado\\_de\\_acido\\_sulfurico.pdf](http://www.h2so4.com.br/h2so4/download/arquivos/5ocongressobrasileirodeacidossulfurico/V_Co bras-Caraiba-Mercado_de_acido_sulfurico.pdf)>. Acesso em 22 ago. 2009.
- PINTO, Cláudio Damasceno. Análise da concorrência dos supermercados de Salvador numa perspectiva duma política antitruste. Tese de Mestrado. Universidade de Salvador - UNIFCAS, 2007. Disponível em: [http://tede.unifacs.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=245](http://tede.unifacs.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=245). Acesso em 10 out. 2009.
- PETROBRAS. Petrobrás, produtos e serviços. Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS. Rio de Janeiro, 2009a. Disponível em: <<http://www2.petrobras.com.br/minisite/refinarias/portugues/index.asp>>. Acesso em 21 ago. 2009.
- PETROBRAS. Petrobrás, refinarias. Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS. Rio de Janeiro, 2009b. Disponível em: <[http://www2.petrobras.com.br/portugues/ads/ads\\_Produtos.html](http://www2.petrobras.com.br/portugues/ads/ads_Produtos.html)>. Acesso em 22 ago. 2009.
- PETROBRAS. Petrobras, refinarias - SIX, São Mateus do Sul. Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS. Rio de Janeiro, 2009c. Disponível em: <<http://www2.petrobras.com.br/minisite/refinarias/petrosix/portugues/conheca/index.ap>>. Acesso em 22 ago. 2009
- RODRIGUES, Antonio Fernando da S. 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, 2009. Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/mostra\\_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=3116](http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=3116)>. Acesso em 25 jul. 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.
- SMB. Sumário Mineral Brasileiro. Departamento Nacional da Produção Mineral - . Vários números, desde o número 1, em 1970 e a última publicação em 2008. ano-base 2007. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=64>>. Acesso em 15 jul. 2009.
- SCHMIDT, Cristiane Alkmin Junqueira; LIMA, Marcos André. Índices de concentração. Central de documentos. Secretaria de Acompanhamento Econômico - SEAE. Ministério da Fazenda - MF. Brasília, 2002. Disponível em: <[http://www.seae.fazenda.gov.br/central\\_documentos/documento\\_trabalho/2002-1/doctrab13.pdf](http://www.seae.fazenda.gov.br/central_documentos/documento_trabalho/2002-1/doctrab13.pdf)>. Acesso em 6 ago. 2009.
- SCOTIA BANK. Scotiabank's commodity price index. 23 jul. 2009. Disponível em: <[http://www.scotiacapital.com/English/bns\\_econ/bnscomod.pdf](http://www.scotiacapital.com/English/bns_econ/bnscomod.pdf)>. Acesso em 25 ago. 2009.
- SMM/MME. Mineração no Brasil: previsão de demanda e necessidade de investimentos. Secretaria de Minas e Metalurgia - SMM. Ministério de Minas e Energia - MME. Brasília, 2000.
- SUSLICK, S. B., Harris, D. P., Allan, L. H. E., SERFIT. An algorithm to forecast mineral trends. Computers & Geosciences. v. 21, n. 5 (Jun.). p. 703-713, 1995.
- Suslick, S. B.. 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, 1995.
- TSAY, R. S. Analysis of Financial Time Series. 1 ed. Wiley-Interscience, 2001.

- UE. Portal de estatísticas EUROSTAT: população, PIB e outros, somatório UE, e por cada país da UE-27. Luxemburgo, 2009. Disponível em:  
</http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>. Acesso em 24 ago. 2009.
- UN. World population prospects: the 2008 revision population database. United Nations Population Division. United Nations - UN. Nova Iorque, 2009.
- U.S. Census Bureau. Current population reports. US Population, 2008.
- USGS. Sulphur, Mineral Commodity Summaries. U.S. Geological Survey - USGS. Virgínia, jan. 2009a. Disponível em:  
</http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate\_rock/index.html#mcs>. Acesso em 25 ago. 2009.
- USGS. Sulphur, Mineral Industry Surveys. Séries de preços ROM mina nos EUA e de consumo aparente nos EUA. U.S. Geological Survey - USGS, mar. 2009b. Disponível em:  
</http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mis.html>. Acesso em 25 ago. 2009.
- USGS. Sulphur statistics. Série Longa, produção mundial, 1900 a 2007. U.S. Geological Survey - USGS. Virgínia, 2008a. Disponível em: </http://minerals.usgs.gov/ds/2005/140/phosphate.pdf>. Acesso em 25 ago. 2009.
- USGS. Sulphur end-use statistic. Série Longa, consumo aparente dos EUA, 1975 a 2003. U.S. Geological Survey - USGS. Virgínia, 2008b. Disponível em:  
</http://minerals.usgs.gov/ds/2005/140/phosphate-use.pdf>. Acesso em 26 ago. 2009.
- USGS. Sulphur, Minerals Yearbook. U.S. Geological Survey - USGS. Virgínia, 2008c. Disponível em: </http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate\_rock/myb1-2007-phosp.pdf>. Acesso em 26 ago. 2009.

## 12. ANEXOS

ANEXO I - Tabelas de referência para os gráficos e notas metodológicas

### A. I.1. Tabela - Enxofre a granel Vancouver/Canadá FOB

Data	Enxofre a granel Vancouver/Canadá FOB
2002	55
2003	50
2004	55
2005	62
2006	48
2007	61
2008 (06)	660
2008 (10)	840
2009 (06)	34

Fonte: ANDA (2009).

### A. I.2. Tabela – Preço médio: das importações do Brasil (do enxofre a granel) do mercado interno (outras formas) e da Petrobras (recuperado do petróleo).

Anos	Preço médio das importações a granel - BR FOB	Preço do mercado interno BR FOB	Preço Petrobras - BR FOB
2002	30,88	30,88	32,37
2003	59,07	57,19	69,44
2004	64,68	94,86	...
2005	65,78	82,67	...
2006	34,50	67,03	95,87
2007	82,73	96,83	173,10

Notas: (1) Preço médio anual do enxofre obtido como subproduto do beneficiamento de ouro, cobre, níquel e zinco, contido no H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> produzido pelas empresas.

Fonte: MINERALdata (2009); SMB.

### A. I.3. Tabela – Evolução da produção brasileira de enxofre.

Anos	Produção a partir do xisto betuminoso (t)	Produção a partir do petróleo (t)	Produção a partir de outras formas (t)	Produção total (t)
1980	1.833	58.415	70.393	130.641
1981	3.019	41.507	57.771	102.297
1982	3.335	69.580	72.991	145.906
1983	3.202	65.462	119.943	188.607
1984	3.596	71.287	141.386	216.269
1985	4.277	54.591	170.082	228.950
1986	5.642	73.572	191.629	270.843
1987	5.742	77.322	229.742	312.806
1988	6.039	61.396	254.869	322.304

1989	5.721	60.121	235.721	301.563
1990	5.644	58.322	212.106	276.072
1991	5.456	46.826	230.023	282.305
1992	18.182	58.513	208.741	285.436
1993	21.924	58.582	185.229	265.735
1994	20.708	53.256	182.791	256.755
1995	22.472	41.951	174.736	239.159
1996	25.319	33.424	179.279	238.022
1997	20.476	33.823	177.818	232.117
1998	24.582	36.973	187.943	249.498
1999	23.232	57.962	217.119	298.313
2000	23.720	81.762	217.238	322.720
2001	24.468	80.125	280.079	384.672
2002	22.620	77.185	284.184	383.989
2003	19.246	90.332	285.824	395.402
2004	24.174	91.804	279.631	395.609
2005	19.618	112.093	266.817	398.528
2006	20.954	117.203	297.539	435.696
2007	22.336	135.623	321.707	479.666

Nota: Enxofre obtido nas plantas industriais de Cu, Zn, Ni e Au.

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

#### **A I.4. Tabela – Consumo aparente, produção, importação e exportação de bens primários.**

<b>Anos</b>	<b>Consumo aparente (t)</b>	<b>Produção (t)</b>	<b>Importação bens primários (t)</b>	<b>Exportação bens primários (t)</b>
1978	702.744	56.503	646.309	68
1979	755.609	92.061	688.453	4.905
1980	1.100.323	130.641	969.737	55
1981	955.044	102.297	852.865	118
1982	1.059.004	145.906	913.168	70
1983	1.164.355	188.607	971.108	124
1984	1.390.143	216.269	1.174.192	318
1985	1.338.688	228.950	1.109.738	25
1986	1.425.801	270.843	1.154.974	16
1987	1.503.394	312.806	1.190.592	14
1988	1.476.986	322.304	1.154.682	...
1989	1.439.697	301.563	1.145.365	7.231
1990	1.192.322	276.072	930.515	14.265
1991	1.194.103	282.305	911.798	...
1992	1.104.684	285.436	953.389	...
1993	1.426.053	265.735	1.162.524	2.206
1994	1.589.915	256.755	1.333.170	10
1995	1.544.119	239.159	1.307.419	2.459
1996	1.565.961	238.022	1.331.251	3.312
1997	1.800.038	232.117	1.567.937	16
1998	1.660.276	249.498	1.410.826	48
1999	1.763.233	298.313	1.708.271	1.856
2000	2.029.135	322.720	1.558.986	6.721



2001	1.937.285	384.672	1.559.386	6.773
2002	1.793.258	383.989	1.793.530	656
2003	1.892.526	395.402	1.752.589	199
2004	2.190.461	395.609	2.180.283	1.060
2005	2.185.108	398.528	1.792.730	6.150
2006	3.572.639	435.696	3.137.473	530
2007	2.682.592	479.666	2.203.399	473
2008	2.666.000	490.000	2.176.000	...

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

#### A. I.5. O Plano Duo-Decenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - PDGMT 2010/2030 e a metodologia para as projeções

##### A. I.5.1. O Plano Duo-Decenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - PDGMT

Segundo o documento "Elaboração do Plano Duo-Decenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - PDGMT 2010/2030" (MME, 2009), o Brasil tem tido nos últimos 25 anos um crescimento econômico muito baixo, mas atualmente reúne condições para entrar em um novo patamar de crescimento.

Quanto à população, segundo previsão do IBGE, o Brasil alcançará o máximo populacional, aproximadamente 220 milhões de habitantes, por volta de 2040 (apenas 10 anos após o horizonte do PDGMT) com repercussões na elaboração do PDGMT. No Plano Plurianual para o Desenvolvimento do Setor Mineral - PPDSM, de 1994, a previsão da população brasileira para o ano 2010 (no próximo ano!) era de 246 milhões de habitantes, enquanto serão apenas 193 milhões, mais de 20% abaixo do estimado. Observa ainda o referido documento, que pela primeira vez, a dimensão do mercado brasileiro para produtos minerais, no longo prazo, parece se configurar com mais nitidez. Nesse sentido, o Plano deverá apontar os principais obstáculos a serem superados para o pleno atendimento das necessidades.

Entretanto, ainda o PAC - Plano de Aceleração do Crescimento, apresentado no início do ano de 2007, indica investimentos vultosos em infra-estrutura e habitação, e desencadeou o anúncio de uma série de investimentos privados em exploração mineral, mineração e transformação mineral.

É nesse contexto que surge um planejamento setorial de longo prazo e o presente Plano, Plano Duo-Decenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - PDGMT 2010/2030, que se encontra em elaboração, terá um horizonte de 20 anos, com previsão de revisões quadrienais e detalhamento, coincidentes com os períodos dos Planos Plurianuais-PPAs do governo federal (MME, 2009).

##### A.I.5.2. Metodologia para as projeções de consumo e produção de 2010-2030

Segundo o *Relatório Técnico 01: Histórico e perspectivas de evolução macroeconômica setorial da economia brasileira a longo prazo*, que faz parte integrante dos RT's para a elaboração do Plano Duo-Decenal de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - PDGMT 2010/2030:

*"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. (...). A projeção da economia brasileira no horizonte 2010 a 2030 encontra-se apresentada segundo três cenários no quadro 19 a seguir:*

## QUADRO 19

PIB - Produto Interno Bruto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
	FRÁGIL: Instabilidade e Retrocesso	VIGOROSO: Estabilidade e Reformas	INOVADOR: Estabilidade, Reformas e Inovação
<i>Média no período 2010-2030 (% a.a.)</i>	2,3	4,6	6,9
<i>- Período 2010 a 2015 (% a.a.)</i>	2,8	4,0	5,0
<i>- Período 2015 a 2020 (% a.a.)</i>	2,5	4,5	6,5
<i>- Período 2020 a 2030 (% a.a.)</i>	2,0	5,0	8,0

Fonte: J. MENDO/RT 01, 2009.

### A.I.5.2. Metodologia Modelo Auto-Regressivo de Previsão de Consumo Aparente de Fertilizantes

Dentre as técnicas existentes para realizar previsões, talvez a mais utilizada seja a regressão e suas variantes como regressões múltiplas, mas recentemente vêm sendo usados também outras técnicas lineares como auto-regressão e vetores auto-regressivos. Embora a análise de regressão lide com a dependência de uma variável em relação a outras, esta dependência pode ser observada estatisticamente, mas não necessariamente existe uma relação causa-efeito. Entretanto, a especificação da modelagem de regressão é uma tarefa complexa, empírica e não é difícil se deparar com o problema do erro na especificação do modelo ou de introdução de viés da especificação do modelo, que comumente pode ter sua origem na omissão de uma ou mais variáveis relevantes, na inclusão de uma ou mais variáveis desnecessárias, ou na adoção da forma funcional errada. A partir da criação da metodologia Box-Jenkins, tecnicamente denominada método, a ênfase na análise de séries temporais permite que  $Y_t$  seja explicado por valores passados, ou defasados, do próprio  $Y$  e dos termos de erro estocásticos.

Pode-se tomar como exemplo o consumo aparente de fertilizantes. Neste caso, ao invés de se tentar prever diretamente o consumo aparente, pode-se prever via método ARIMA o consumo aparente 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 via intensidade de uso (Suslick 1991, Suslick et al. 1995). Neste trabalho as previsões foram todas realizadas em cima da divisão do consumo aparente sobre o 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.

O processo de mineração de dados via método ARIMA para previsão de séries temporais foi dividido em três atividades básicas: análise da série temporal, ajustamento do modelo e previsão propriamente dita.

#### a. Análise das séries temporais, transformação para número índice e saturação

Em estatística, uma série temporal é uma coleção de observações feitas sequencialmente ao longo do tempo. Uma característica muito importante deste tipo de dados é que as observações vizinhas são dependentes, e o interesse é analisar e modelar esta dependência (Freedman et al. 2007).

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 aparente 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 não-estacionárias. Explicações detalhadas sobre os métodos de transformação, como e quando se realizam estas transformações podem ser obtidas em Gujarati e Porter (2008).

A primeira transformação realizada consiste em aplicar o número índice sobre cada série temporal. O objetivo é igualar as escalas das séries de modo a igualar as forças dos regressores no modelo de previsão. Este número é o valor da série em um determinado ano. O ano escolhido para todas as séries estudadas foi o de 2008. O mesmo processo foi realizado sobre o consumo aparente para cada elemento fertilizante. A partir destas transformações, pode-se realizar um paralelo entre o PIB, o consumo aparente do produto nutriente e a série transformada do consumo aparente do produto nutriente pelo PIB.

Visualmente se pode observar que a série transformada (consumo aparente/PIB) é não-estacionária e que possuem tendência. Neste sentido, 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 e subtrair a série original pelo 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.

Para o 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. Ademais, o próprio crescimento da área agrícola também não deve acompanhar este crescimento. Desta forma, é necessário aplicar uma saturação da capacidade de propagação do crescimento do PIB ao consumo aparente dos fertilizantes. O modelo de saturação apresentado é baseado na função sigmóide. Além desta saturação do PIB foi utilizado também uma saturação do consumo aparente por habitante. No caso, utilizou-se o consumo aparente dos EUA por habitante como proxy para o modelo regressivo. O modelo de saturação também foi baseado na função sigmóide.

## **b. Modelo Box-Jenkins para Previsão de Fertilizantes**

A partir da inovação pode-se calcular a auto-correlação da série. O objetivo da auto-correlação é obter os lags para se aplicar o Box-Jenkins. Uma vez tendo se ajustado o modelo Garch pode-se calcular a previsão da inovação para série temporal e reaplicar a tendência de volta. Isto permite gerar a previsão do consumo aparente pelo PIB. Este consumo aparente sofre ainda o efeito do proxy do consumo aparente por habitante. Multiplicando-se o PIB saturado pelo valor da previsão saturada pelo consumo aparente por habitante, tente-se a previsão do consumo aparente efetivo para cada um dos cenários.

### **A. I.6. O índice de Concentração (CR) e o índice Herfindahl-Hirschman (HHI)**

Dois indicadores, o índice de Concentração (CR) e o índice Herfindahl-Hirschman (HHI) são utilizados pelos analistas econômicos para medir o grau de concentração de mercado de um determinado setor da atividade econômica, ou seja, visam captar a forma de competição de um mercado, fornecendo elementos para a análise da concorrência. Um alto valor para estes indicadores é sinônimo de se tratar de formas de competição designadas genericamente por concorrência imperfeita, em que, ao invés da concorrência perfeita com muitos vendedores e muitos compradores, se tem uma estrutura empresarial (a oferta), com poder sobre o mercado, significando, entre outros, poder sobre a fixação do preço final do produto. Em um setor constituído por uma única empresa ou por poucas empresas relevantes, a concorrência imperfeita designa-se por, respectivamente, monopólio e oligopólio.

O primeiro índice de mensuração, o índice de concentração (CR), mede a participação percentual acumulada (*market-share*) das empresas de um determinado setor. Usualmente utiliza-se apenas as quatro maiores empresas na produção total daquele setor econômico e o índice é denotado por CR<sub>4</sub>. 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 CR<sub>4</sub> 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%.

Quanto ao índice Herfindahl-Hirschman (HHI), este é calculado por meio da soma dos quadrados da participação de cada empresa em relação ao total do setor de atividade econômica em exame (*market-shares* individuais) das firmas participantes. O HHI<sub>4</sub>, índice calculado também para as quatro maiores empresas varia de 0 a 10.000. Em um mercado semelhante ao modelo de concorrência perfeita, com um número muito grande de firmas, o valor de cada participação individual de uma empresa no mercado é insignificante e o HHI tende a zero. No extremo oposto, sob regime de monopólio, em que há apenas uma empresa, sua participação é de 100% e o HHI correspondente é 10.000 (100<sup>2</sup>). 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 elevada parcela de mercado. Admite-se que uma concentração gera o controle de parcela de mercado suficientemente alta para viabilizar o exercício coordenado do poder de mercado sempre que: a concentração tornar a soma da participação de mercado das quatro maiores empresas (C<sub>4</sub>) igual ou superior a 75%.

O índice HHI tem sido também utilizado por entidades governamentais de defesa da concorrência e de antitruste, como no Brasil o CADE - Conselho Administrativo de Defesa Econômica e o Federal Trade Commission dos EUA – Estados Unidos da América, para a orientação de políticas antitruste. Neste RT - Relatório Técnico, o HHI foi calculado, assim como o CR<sub>4</sub>, para as quatro mais importantes empresas do setor.