

# Enxofre

Especialista David Siqueira Fonseca  
DNPM-Sede (61) 3312-6839  
david.fonseca@dnpm.gov.br

Especialista Iasmine Ramalho Bacic  
DNPM – SC (48) 3216-2324  
iasmine.bacic@dnpm.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONCEITO DO BEM MINERAL

O enxofre foi classificado como elemento químico na década de 1770, por Lavoisier, mas só foi demonstrado como substância simples na primeira metade do século XIX, pelos químicos franceses Gay-Lussac e Thenard. Antes de ser identificado pela química moderna, havia sido empregado em experimentos alquímicos na Idade Média.

No mundo pré-industrial, o enxofre já era conhecido por povos sem escrita, utilizado como pigmento de pintura em cavernas. Em diversas civilizações, sua queima fazia parte de rituais religiosos, servia para clarear o algodão e a lã e para a fumigação. Como medicamento dermatológico, foi empregado em unguentos especiais. Como explosivo, foi utilizado no preparo da pólvora.

No mundo industrial, o enxofre passou a ser utilizado no processo de vulcanização da borracha, melhorando drasticamente a qualidade desse material e tendo muita importância na indústria automobilística, com relação à resistência dos pneus. Empregado na fabricação de fósforos, inseticidas e têxteis, também está presente na metalurgia e na indústria farmacêutica, sendo seus principais compostos o ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), o dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) e o sulfureto de hidrogênio ( $H_2S$ ).

Na forma elementar o enxofre ocorre nos depósitos de origem vulcânica, bacias de evaporitos e domos salinos. Na forma de composto ocorre como sulfatos (anidrita, barita, gipsita) e sulfetos (calcopirita, pirrotita, esfalerita, galena, arsenopirita, pirita). Ocorre ainda associado ao carvão (pirita), folhelho pirobetuminoso, petróleo e gás natural. Apesar de essencial a vida, sendo inclusive considerado o quarto macro nutriente, sua emissão para o ambiente provoca a ligação com outros elementos formando compostos contaminantes.

Sua produção foi originalmente como enxofre elementar proveniente de depósitos de origem vulcânica, posteriormente passou a ser recuperado a partir de sulfetos (pirita) e atualmente, a maior produção é através do refino de petróleo e recuperado a partir de gás natural e de metalurgias de metais não ferrosos. Essas últimas formas de produção de enxofre surgiram principalmente para cumprir legislações mais restritivas quanto à redução de emissões de enxofre para a atmosfera no processo de produção de combustíveis e de reduzir ou eliminar o enxofre durante os processos metalúrgicos para obtenção de outros elementos.

Deste modo, denomina-se enxofre nativo o enxofre encontrado em sua forma elementar cuja extração se dá pelo Método Frash, onde há a fusão do elemento na própria rocha reservatório e sua extração no estado líquido. Enxofre Recuperado é aquele que provém do gás natural, gás refinado de petróleo, gás liquefeito e outros gases combustíveis. Denomina-se de subproduto o enxofre obtido da mineração de sulfetos metálicos, como o ouro, cobre, zinco e chumbo. O processo de recuperação chama-se ustulação sendo produzido o ácido sulfúrico.

## 1.2. CARACTERIZAÇÃO/OCORRÊNCIAS

O Enxofre pode ocorrer em sua forma nativa (S) ou formando compostos, sendo os mais comuns os sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ) e sulfetos ( $S^{2-}$ ). Em sua forma nativa, possui dureza que varia de 1,5 a 2,5, densidade de 2,05 a 2,09, cores amarela, cinza, vermelho e verde, brilho resinoso, sendo ausente de clivagem.

No solo, onde sua concentração média é de  $433 \text{ mg kg}^{-1}$ , encontra-se disponibilizado pelo desgaste das rochas, pela transformação da biomassa, e pela atmosfera, sendo obtido diretamente pelas plantas na forma do ânion sulfato  $SO_4^{2-}$ .

Na crosta terrestre, a concentração média é de  $500 \text{ mg kg}^{-1}$  sendo que as três principais substâncias minerais são mostradas na tabela 1.

**Tabela 1**  
**OCORRÊNCIAS DE ENXOFRE**

| Tipo           | Formação  | Fórmula Química               | % de Enxofre  |
|----------------|---|-------------------------------|---|
| Enxofre Nativo | Precipitação em áreas vulcânicas; em domos salinos; em seqüências evaporíticas. | S <sup>0</sup>                | 100% S  |
| Sulfetos       | Formado sob condições anaeróbicas   | S <sup>2-</sup>               | Pirita (FeS <sub>2</sub> ): 53% S<br>Pirrotita (FeS): 38,5% S<br>Calcopirita (CuFeS <sub>2</sub> ): 35% S |
| Sulfatos       | Formado sob condições aeróbicas   | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Gipsita (CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O): 18,6% S<br>Anidrita (CaSO <sub>4</sub> ): 23,5% S         |

O enxofre nativo pode ser formado pela condensação de vapores ricos nesse elemento em torno das fumarolas vulcânicas. Apesar de grande fonte de enxofre no passado, o enxofre nativo responde atualmente por apenas 1% da produção mundial.

Outra forma de ocorrência de enxofre nativo é em associação com sulfatos de cálcio (Gipsita e Anidrita). O Brasil possui um depósito desse tipo na localidade de Castanhal, no estado do Sergipe (Frota e Bandeira, Principais Depósitos Minerais do Brasil, DNPM). O método de obtenção deste enxofre é o Frasch.

Os sulfetos, cujo principal mineral é a pirita (FeS<sub>2</sub>) podem ser encontrados numa enorme gama de ambientes geológicos que incluem os vulcanogênicos, hidrotermais e sedimentares. A extração do enxofre se dá como subproduto da mineração de minérios de sulfeto metálico ou de carvão mineral.

Os sulfatos, como a Gipsita (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) e a Anidrita (CaSO<sub>4</sub>), encontra-se associada a carbonatos e argilas em seqüências evaporíticas e podem ser reduzidos com carvão para obtenção do SO<sub>2</sub>.

As outras formas de ocorrência de enxofre são gasosas, presentes no gás natural na forma de H<sub>2</sub>S; em pântanos e mangues, também na forma de H<sub>2</sub>S; e pela poluição gerada pela atividade industrial, na forma de dióxido de enxofre – SO<sub>2</sub> (que gera a chamada chuva ácida).

## 1.3. USOS E SUBSTITUIÇÕES

O enxofre é utilizado em vários setores da indústria na forma do ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e o sulfureto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S). O enxofre e seus derivativos possuem as mais diversas aplicações, como nas indústrias metalúrgicas, de pigmentação, celulose, do petróleo, assim como em baterias, detergentes, fungicidas, cosméticos, explosivos, no tratamento da água, entre outros.

No entanto, o principal uso do enxofre é na indústria de fertilizantes, onde através do ácido sulfúrico são obtidos três produtos:

- ácido fosfórico, através do ataque a rocha fosfática e a consequente produção do superfosfato triplo.

- superfosfato simples através do ataque a rocha fosfática.
- sulfato de amônia através da associação com a amônia.

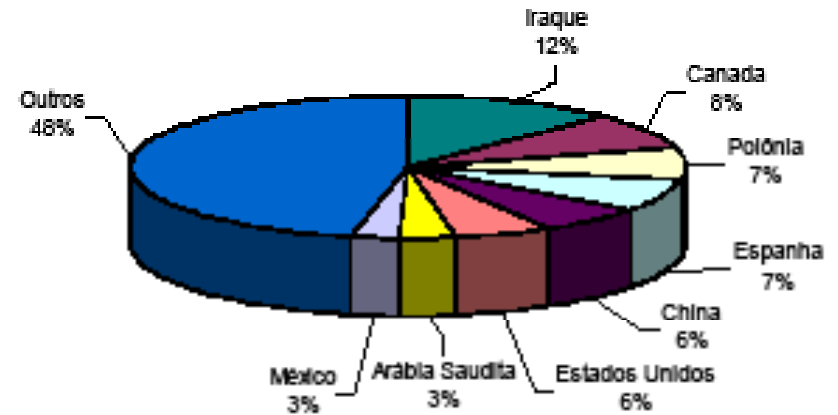
A ausência de um desses produtos na formulação NPK leva a produção de um produto pobre em enxofre.

Uma alternativa ao enxofre utilizado na agricultura brasileira é o gesso (Gipsita), que pode ser aplicado isoladamente, em mistura com rocha calcária ou até mesmo com os fertilizantes. Além desse gesso natural, há também o fosfogesso, que é um sulfato de cálcio di-hidratado, obtido como subproduto da própria cadeia de fertilizantes, quando do ataque do ácido sulfúrico na rocha fosfática, cujos produtos são o ácido fosfórico e o fosfogesso. Esse produto possui as propriedades de fonte de cálcio e enxofre, eliminação do alumínio tóxico subsuperficial e aproveitamento dos solos salinos e sódicos.

## 2. RESERVAS

A última estatística de reservas de enxofre fornecidas pelo USGS é de 2001 e encontra-se discriminada no Gráfico 1. No entanto, não há razão em se falar em reservas de enxofre, primeiro porque há a dificuldade natural em se mensurar as reservas associadas ao Petróleo e Gás Natural e segundo porque o refino destes pode ocorrer em países diversos do da extração, o que faz com que a produção seja computada em outro país. Isso ocorre não só com os combustíveis fósseis, mas também com os sulfetos. Como exemplo, para o Brasil, pode-se citar os sulfetos de cobre das minas localizadas no Chile, que são enviadas para a Caraíba Metais, localizada no Estado da Bahia, onde é produzido ácido sulfúrico. De qualquer forma o enxofre acha-se bem distribuído entre os diversos países, sendo que o país que detém as maiores reservas (considerando ainda os dados de 2001) é o Iraque, cuja fonte provém do petróleo e gás, seguido por Canadá, Polônia, Espanha, China e Estados Unidos, na proporção apresentada no Gráfico 1. Os demais países detêm quase 50% das reservas mundiais.

**Gráfico 1**  
**DISTRIBUIÇÃO DAS RESERVAS DE ENXOFRE POR PAÍSES EM 2001**



O Brasil detém apenas 1,2% das reservas mundiais de enxofre, que somam 48,5 milhões de toneladas, distribuídas conforme tabela 2 a seguir.

Essas reservas estão assim distribuídas:

1) reservas de enxofre associadas ao Petróleo e Gás Natural e recuperadas no refino, realizado pela Petrobrás.

Estas reservas não se encontram computadas acima e são difíceis de obter, pois o enxofre contido no petróleo e no gás natural varia enormemente.

2) reservas de enxofre associadas aos folhelhos pirobetumínicos.

No estado do Paraná o enxofre ocorre associado aos folhelhos pirobetumínicos da Formação Irati, da Bacia do Paraná. Esses folhelhos possuem uma coloração preta, são finamente laminados e com alto teor de matéria orgânica, contendo reservas de óleo, gás combustível e enxofre, explorados pela Petrobrás através de um método por ela desenvolvido denominado Petrosix.

**Tabela 2**  
**RESERVAS DE ENXOFRE NO BRASIL**

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

Fontes: empresas, Relatório Anual de Lavra. Quantidade em toneladas.

### 3) reservas de enxofre associadas ao carvão no sul do Brasil.

No sul do Brasil, principalmente no estado de Santa Catarina, existem extensos depósitos de pirita ( $\text{FeS}_2$ ), associada aos depósitos de carvão da Bacia do Paraná, cujos rejeitos resultantes do beneficiamento de carvão no Estado de Santa Catarina podem conter até 75% de pirita contra 25% de carvão mineral. Por falta de viabilidade econômica este sulfeto foi por muito tempo estocado e, atualmente, apenas a empresa Carbonífera Metropolitana realiza a exploração.

### 4) reservas de enxofre como subproduto de sulfetos.

No estado de Minas Gerais existem reservas associadas aos sulfetos de zinco (esfalerita –  $\text{ZnS}$ ) existentes no município de Paracatu e aos sulfetos de níquel e cobre de Fortaleza de Minas, ambas explorados atualmente pela empresa Votorantim Metais. Em Paracatu, na mina denominada Morro Agudo, os sulfetos são encaminhados para a unidade da Votorantim localizada em Três Marias onde é produzido ácido sulfúrico. Já em Fortaleza de Minas, na mina denominada Morro do Níquel, a mineralização é composta por pirrotita ( $\text{FeS}$ ), pentlandita ( $\text{FeNi}_9\text{S}_8$ ) e calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ) e a planta de ácido fica na mesma localidade.

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

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

A Caraíba Metais S/A recebe ainda o concentrado de cobre proveniente da mina da Chapada, localizada em Novo Horizonte, no estado de Goiás, explorada pela empresa Yamana, e da mina de Sossego, localizada em Canaã dos Carajás, no Pará, explorada pela empresa Vale. Ambas não estão com suas reservas de enxofre computadas acima.

O depósito de Chapada é de sulfetos de cobre e ouro. A operação teve início em 2007 quando 15% da produção foi enviada para a Caraíba Metais, sendo o restante exportado. A vida útil da mina é de 17 anos.

A mina do Complexo do Sossego, em Carajás, no Pará, cuja titular é a empresa Vale encaminha um concentrado obtido por um processo de flotação a partir de minérios com teores de aproximadamente 1% de Cu (ou 2% de calcopirita). Apenas 12% da produção da mina de Sossego é enviada para a Caraíba Metais, sendo o restante exportado.

5) enxofre nativo.

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

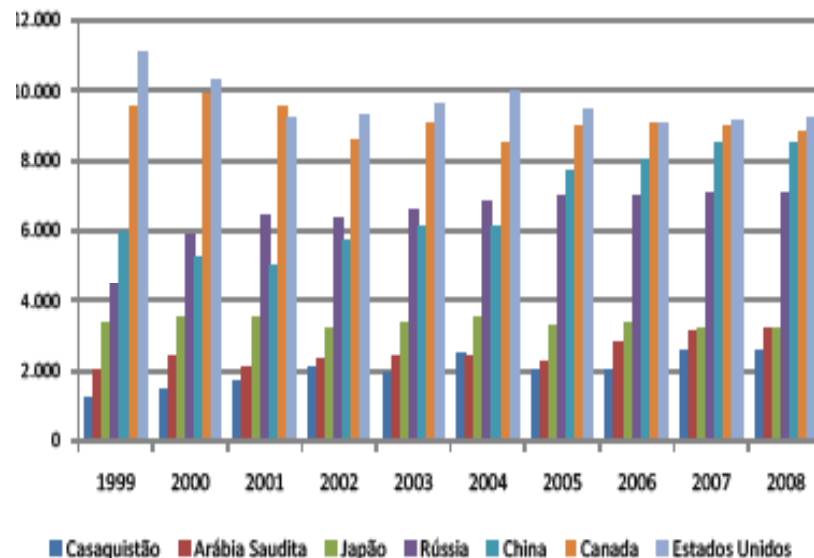
### 3. PRODUÇÃO

Os principais produtores mundiais de enxofre no ano de 2008 foram Canadá (13,5%), Estados Unidos (13%), China (12%) e Rússia (10%), seguidos de Japão, Arábia Saudita, Alemanha e Casaquistão, que juntamente com outros países produziram cerca de 69 milhões de toneladas de enxofre, conforme mostrado na Tabela 3.

O aumento da produção observado na Tabela 3, que passou de 57 milhões de toneladas em 1999 para o patamar acima referido, deve-se ao incremento da produção de países como a China (6 milhões de t em 1999 e 8,5 milhões de t em 2008), Rússia (4,5 milhões de t em 1999 e 7 milhões de t em 2008) e Arábia Saudita (2 milhões de t em 1998 e 3 milhões de t em 2008) e a entrada de novos produtores, como Emirados Árabes Unidos e Coréia.

Já entre os principais produtores, Estados Unidos e Canadá, enquanto este manteve sua produção constante ao longo do tempo, sempre em torno dos 9 milhões de toneladas, os Estados Unidos sofreram um decréscimo substancial, passando de 11 milhões de toneladas em 1999 para os atuais 9 milhões de toneladas. As causas para esse decréscimo incluem furacões no Golfo do México, que obrigaram ao fechamento de uma mina no Texas em 1999 (cujo enxofre era obtido pelo método Frasch) assim como o fechamento de fundições de cobre que reduziram a produção de ácido sulfúrico como subproduto e, finalmente, pela exaustão de depósitos de gás natural. A evolução da produção dos principais países produtores é mostrada no Gráfico 2.

**Gráfico 2**  
**EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENXOFRE DOS PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES**



Fonte: USGS. Valores em toneladas.

**Tabela 3**  
**EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO MUNDIAL DE ENXOFRE**

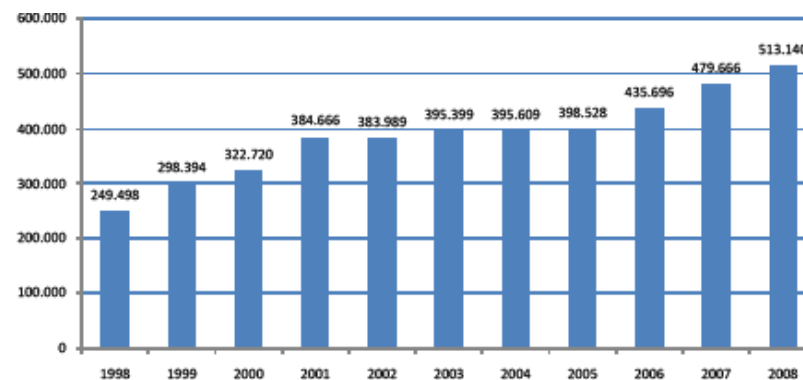
|                | 1999   | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008 <sup>P</sup> |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------|
| Brasil         | 298    | 322    | 384    | 383    | 395    | 395    | 398    | 435    | 479    | 513               |
| Cazaquistão    | 1.200  | 1.500  | 1.700  | 2.100  | 1.930  | 2.500  | 2.030  | 2.000  | 2.600  | 2.600             |
| Arábia Saudita | 2.000  | 2.400  | 2.100  | 2.330  | 2.400  | 2.400  | 2.300  | 2.800  | 3.100  | 3.200             |
| Japão          | 3.400  | 3.500  | 3.500  | 3.200  | 3.330  | 3.500  | 3.260  | 3.330  | 3.200  | 3.200             |
| Rússia         | 4.500  | 5.900  | 6.400  | 6.350  | 6.600  | 6.800  | 6.950  | 7.000  | 7.050  | 7.100             |
| China          | 6.000  | 5.220  | 5.000  | 5.730  | 6.090  | 6.100  | 7.710  | 8.020  | 8.460  | 8.500             |
| Canadá         | 9.500  | 9.900  | 9.500  | 8.538  | 9.030  | 8.500  | 8.973  | 9.047  | 8.967  | 8.800             |
| Estados Unidos | 11.100 | 10.300 | 9.200  | 9.270  | 9.600  | 10.000 | 9.460  | 9.060  | 9.090  | 9.200             |
| Outros         | 19.400 | 18.480 | 19.900 | 20.182 | 22.820 | 24.300 | 25.317 | 24.443 | 25.454 | 25.887            |
| Total          | 57.100 | 57.200 | 57.300 | 57.700 | 61.800 | 64.100 | 66.000 | 65.700 | 68.400 | 69.000            |

Fonte: USGS. Valores em toneladas. Dados de 2008 preliminares.

O Brasil produziu em 2008 praticamente 513 mil toneladas, o que representa um aumento de 92% em relação à produção de 1998, que foi de cerca de 250 mil toneladas. No entanto, esta produção corresponde a apenas 0,7% da produção mundial, sendo insuficiente para abastecer o mercado interno, tendo em vista que o consumo aparente do Brasil em 2008 foi de 2,8 milhões de toneladas, ou seja, nesse ano o país produziu cerca de 18% de sua necessidade.

O enxofre produzido no Brasil provém de três fontes: folhelho pirobetuminoso (5%), beneficiamento do petróleo (28%) e processo de ustulação de sulfetos metálico (67%), como mostrado na Tabela 4. O supracitado incremento na produção brasileira, conforme se observa no Gráfico 3, decorreu do aumento da produção do enxofre obtido como subproduto de sulfetos metálicos e também como subproduto do petróleo sendo que a partir do folhelho pirobetuminoso a produção tem se mantido praticamente constante.

**Gráfico 3**  
**EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO BRASILEIRA DE ENXOFRE**



Fonte: empresas do setor e Relatório Anual de Lavra. Valores em t.

**Tabela 4**  
**EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ENXOFRE NO BRASIL DE ACORDO COM AS FONTES**

| <b>Anos</b>       | <b>Folhelho Pirobetuminoso</b> | <b>Petróleo e Gás Natural</b> | <b>Subproduto de sulfetos</b> | <b>Total</b> |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|
| 1998              | 24.585                         | 36.973                        | 187.943                       | 249.501      |
| 1999              | 23.313                         | 57.962                        | 217.119                       | 298.394      |
| 2000              | 23.720                         | 81.762                        | 217.238                       | 322.720      |
| 2001              | 24.462                         | 80.125                        | 280.079                       | 384.666      |
| 2002              | 22.620                         | 77.185                        | 284.184                       | 383.989      |
| 2003              | 19.246                         | 90.332                        | 285.821                       | 395.399      |
| 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      |
| 2008 <sup>a</sup> | 18.200                         | 135.354                       | 359.586                       | 513.140      |

Fonte: empresas do setor e Relatório Anual de Lavra. Valores em t. Valores de 2008 preliminares.

**1) Produção a partir do folhelho pirobetuminoso:**

Esta produção ocorre no município de São Mateus-PR desde o ano de 1971 através de tecnologia desenvolvida pelo Petrobrás. Este processo, denominado PETROSIX, obtém como produtos da transformação do xisto, por pirólise, os seguintes produtos, além do enxofre: gás combustível, GLP, Nafta, combustíveis e produtos especiais. A cada três anos ocorre uma parada na produção com fins de manutenção, sendo que em 2008 esta parada ocorreu nos meses de junho e julho, o que explica a queda na produção em relação ao ano anterior (vide Tabela 4).

**2) Produção a partir do Petróleo e Gás Natural**

A Petrobras produz e comercializa, por meio da Petrobras Distribuidora, o enxofre de três formas diferentes: o enxofre pecuário, utilizado como complemento alimentar para gado; o ventilado na vulcanização de borrachas e pneus e o industrial para aplicação em segmentos da indústria. O enxofre recuperado do Petróleo e Gás Natural representa

quase 30% do enxofre produzido no país, no entanto, em 2008 a produção oriunda desta fonte manteve-se no mesmo patamar do ano anterior, fazendo com que caísse para 26% da produção nacional.

**3) Produção a partir de piritas contidas no carvão:**

No estado de Santa Catarina há a recuperação de enxofre contido no rejeito piritoso da mineração de carvão. Em 2008 houve a produção bruta de 5.090 toneladas de enxofre contido. O principal comprador é a Votorantim Metais. Esta produção não se encontra computada no gráfico acima devido ao seu baixo volume.

**4) Produção de enxofre como subproduto dos sulfetos metálicos:**

A maior fonte de enxofre nacional (cerca de 70% da produção nacional) é o recuperado a partir de sulfetos conforme já explicado no item de reservas. Uma das empresas que realiza essa recuperação para produção de ácido sulfúrico é o Grupo Votorantim, cujas plantas de beneficiamento localizam-se em Juiz de Fora e Três Marias, ambas



em Minas Gerais. Em Três Marias, parte da matéria prima é importada e parte é proveniente da mina de Morro Agudo (Paracatu). Na unidade de Juiz de Fora o concentrado de sulfeto de zinco utilizado na produção de zinco e na produção de ácido sulfúrico e dióxido de enxofre líquido é 100% importado, principalmente do Peru. Nessa unidade foram produzidas em 2007 praticamente 109 mil toneladas de Ácido Sulfúrico e 8.873 t de dióxido de enxofre líquido. Já em Fortaleza de Minas a unidade produziu em 2008 praticamente 80 mil toneladas de ácido sulfúrico a partir da queima de sulfeto de níquel.

A empresa Caraíba Metais, tem sua produção de ácido sulfúrico oriunda do beneficiamento de sulfetos de cobre de Camaçari, na Bahia, cujo processo de produção é a partir de gases ricos em SO<sub>2</sub> gerados na oxidação de concentrados sulfetados de cobre nos fornos de fusão. As impurezas dos gases são removidas por meio de um processo de lavagem, precipitação eletrostática e secagem. Em seguida o SO<sub>2</sub> é convertido em SO<sub>3</sub> em um reator. O SO<sub>3</sub> é posteriormente absorvido em um sistema que gera o ácido sulfúrico comercial. A produção desta empresa em 2008 foi de 634 mil toneladas de ácido sulfúrico e de 7,7 mil toneladas de Oleum 28%.

A chamada Mina Cuiabá, localizada no município de Sabará, e controlada pela empresa Anglo Gold Ashanti Mineração, produz ouro e enxofre que são beneficiados e transportados até a planta do Queiroz, localizada em Nova Lima. O processo de produção dessa empresa consta da recuperação de enxofre contido nos concentrados de sulfeto de pirita e pirrotita, utilizando a queima em fornos especiais com passagem de corrente de ar quente (ustulação). No período de 2005 a 2007 houve investimentos da ordem de US\$210,00 milhões para incremento da capacidade de extração da mina, além da extensão da vida operacional, que passou para 2021. Em 2008 foram produzidas 201 mil toneladas de ácido sulfúrico. Esta produção é toda voltada para o mercado interno sendo que 41% das vendas foram para empresas fabricantes de papel e celulose, 29% para empresas que produzem produtos químicos e 21% para a indústria de fertilizantes.

No Brasil, as jazidas de enxofre e as plantas de ácido sulfúrico são mostradas no Mapa 1.

**Mapa 1**  
**LOCALIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS DE ENXOFRE**  
**E PLANTAS DE ÁCIDO SULFÚRICO**



Fonte: ANDA, ABIQUIM e DNPM/DIDEM.

## 4. COMÉRCIO EXTERIOR

O comércio exterior de enxofre no Brasil é baseado quase exclusivamente na importação deste produto sendo que a exportação é ínfima. Com isto, a balança comercial registra déficits cada vez maiores, mas agravou-se no ano de 2008 com referência aos valores, já que o Enxofre foi um dos bens minerais que mais tiveram alta nesse ano. Deste modo, o déficit em 2008 passou de US\$ 1,1 bilhão.



Entre os produtos importados, o enxofre a granel representa 80%, enquanto o Ácido Sulfúrico 10% conforme mostrado nas tabelas 5 e 6. Outros produtos que possuem participação expressiva são o

dissulfeto de carbono e outros sulfatos que, juntamente com o enxofre a granel e o ácido sulfúrico compõem a pauta do comércio exterior desse produto, conforme mostrado na Tabela 7.

**Tabela 5**  
**EVOLUÇÃO DO COMÉRCIO EXTERIOR DO ENXOFRE A GRANEL**

| Anos | Exportação |                      | Importação |                      | Saldo       |                      |
|------|------------|----------------------|------------|----------------------|-------------|----------------------|
|      | Toneladas  | 10 <sup>3</sup> US\$ | Toneladas  | 10 <sup>3</sup> US\$ | Toneladas   | 10 <sup>3</sup> US\$ |
| 2000 | 2          | 4                    | 1.578.542  | 76.582               | (1.578.540) | (76.577)             |
| 2001 | 0          | 0                    | 1.482.853  | 46.456               | (1.482.852) | (46.456)             |
| 2002 | 140        | 17                   | 1.692.636  | 48.563               | (1.692.496) | (48.546)             |
| 2003 | 0          | 0                    | 1.752.291  | 103.520              | (1.752.291) | (103.520)            |
| 2004 | 3          | 1                    | 2.020.899  | 130.712              | (2.020.896) | (130.711)            |
| 2005 | 11         | 21                   | 1.646.883  | 108.324              | (1.646.871) | (108.302)            |
| 2006 | 51         | 76                   | 2.990.851  | 103.198              | (2.990.799) | (103.121)            |
| 2007 | 0          | 0                    | 2.071.764  | 171.387              | (2.071.763) | (171.387)            |
| 2008 | 0          | 0                    | 2.156.862  | 1.037.209            | (2.156.862) | (1.037.209)          |

Fonte: SECEX/MIDIC

**Tabela 6**  
**EVOLUÇÃO DO COMÉRCIO EXTERIOR DO ÁCIDO SULFÚRICO**

| Anos | Exportação |                      | Importação |                      | Saldo     |                      |
|------|------------|----------------------|------------|----------------------|-----------|----------------------|
|      | Toneladas  | 10 <sup>3</sup> US\$ | Toneladas  | 10 <sup>3</sup> US\$ | Toneladas | 10 <sup>3</sup> US\$ |
| 2000 | 5.000      | 45                   | 380.560    | 10.586               | (375.559) | (10.540)             |
| 2001 | 20.097     | 266                  | 232.456    | 4.071                | (212.358) | (3.805)              |
| 2002 | 1          | 1                    | 306.797    | 6.516                | (306.796) | (6.514)              |
| 2003 | 7          | 1                    | 420.177    | 19.163               | (420.170) | (19.161)             |
| 2004 | 228        | 29                   | 519.570    | 15.784               | (519.341) | (15.754)             |
| 2005 | 281        | 40                   | 475.310    | 19.951               | (475.029) | (19.911)             |
| 2006 | 72         | 15                   | 477.491    | 12.843               | (477.419) | (12.828)             |
| 2007 | 231        | 53                   | 428.605    | 22.131               | (428.374) | (22.078)             |
| 2008 | 1.093      | 550                  | 508.284    | 94.427               | (507.191) | (93.877)             |

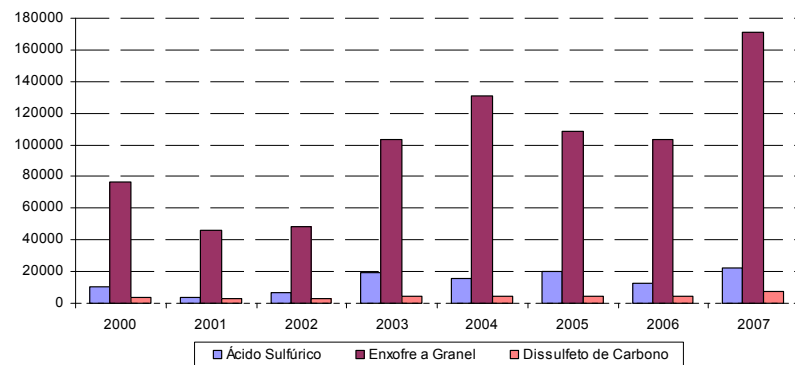
Fonte: SECEX/MIDIC

**Tabela 7**  
**EVOLUÇÃO DO COMÉRCIO EXTERIOR – PRIMÁRIOS E COMPOSTOS QUÍMICOS**

| Anos | Exportação |                      | Importação |                      | Saldo       |                      |
|------|------------|----------------------|------------|----------------------|-------------|----------------------|
|      | Toneladas  | 10 <sup>3</sup> US\$ | Toneladas  | 10 <sup>3</sup> US\$ | Toneladas   | 10 <sup>3</sup> US\$ |
| 2000 | 5.917      | 1.179                | 1.982.993  | 97.074               | (1.977.076) | (95.894)             |
| 2001 | 22.192     | 1.685                | 1.729.596  | 57.843               | (1.707.404) | (56.158)             |
| 2002 | 3.440      | 1.718                | 2.014.700  | 62.260               | (2.011.259) | (60.541)             |
| 2003 | 3.141      | 2.249                | 2.189.552  | 131.569              | (2.186.411) | (129.320)            |
| 2004 | 7.911      | 2.371                | 2.560.032  | 156.584              | (2.552.120) | (154.212)            |
| 2005 | 14.971     | 3.379                | 2.142.721  | 139.298              | (2.127.750) | (135.919)            |
| 2006 | 5.044      | 4.397                | 3.486.329  | 127.243              | (3.481.285) | (122.845)            |
| 2007 | 3.762      | 4.841                | 2.526.608  | 210.362              | (2.522.845) | (205.521)            |

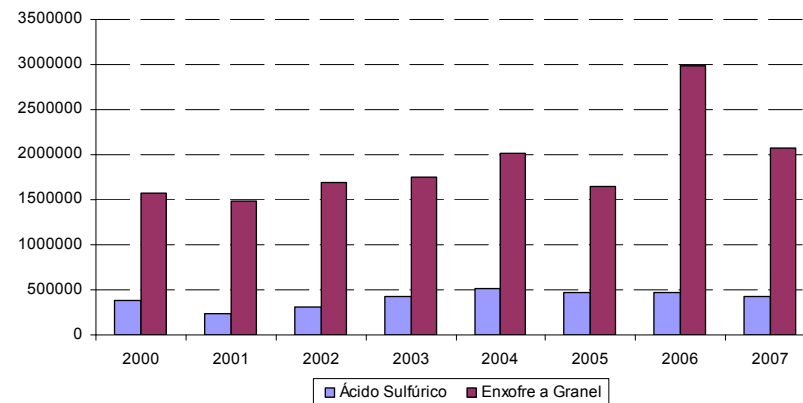
Fonte: SECEX/MIDIC

**Gráfico 4**  
**VALORES DE IMPORTAÇÃO DOS PRINCIPAIS PRODUTOS**



Fonte: SECEX. Em US\$ 10<sup>3</sup>

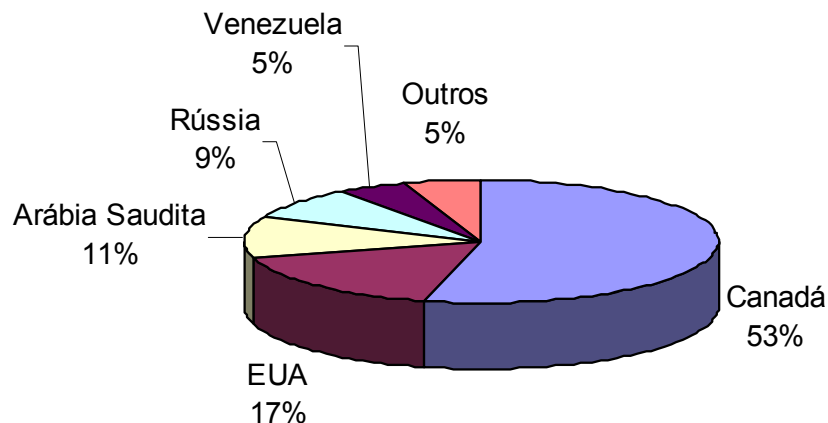
**Gráfico 5**  
**EVOLUÇÃO DA IMPORTAÇÃO DO ÁCIDO SULFÚRICO E ENXOFRE A GRANEL**



Fonte: SECEX. Em toneladas.

O principal país exportador para o Brasil de enxofre a granel é o Canadá, seguido de Estados Unidos, Arábia Saudita e Rússia, na proporção mostrada no Gráfico 6. A Venezuela, que ao longo dos anos vem aumentando sua produção chegando à média de 800 mil toneladas anuais, impulsionada, pelo Petróleo, possui expressiva participação neste comércio.

**Gráfico 6**  
**PAÍSES DE ORIGEM DA IMPORTAÇÃO DO ENXOFRE**



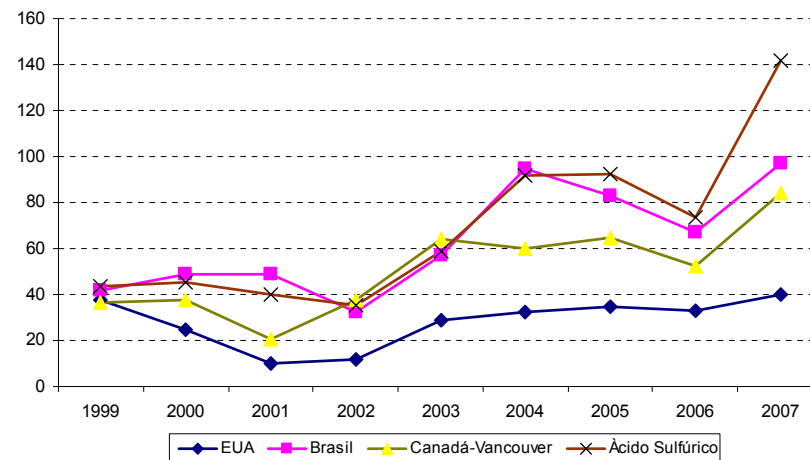
Fonte: IFA/Secex-MDIC

## 5. CONSUMO

De acordo com o TSI – The Sulphur Institute, o mundo consumiu no ano de 2006 cerca de 71 milhões de toneladas de enxofre enquanto que em 2007 este consumo foi de 73,9 milhões, levando a utilização dos estoques. Este aumento de consumo e também de preços, foi ocasionado pelo aumento da demanda de China e Índia, para utilização na indústria de fertilizantes.

O consumo aparente do enxofre no Brasil, medido pela diferença entre o que foi produzido e o que foi importado pela exportação, quando mostrado no Gráfico 6, e devido à baixa produção brasileira de enxofre e os altos valores de importação, apresenta curva que acompanha a curva da importação, refletindo assim o grau de dependência do país em relação ao enxofre.

**Gráfico 7**  
**CONSUMO APARENTE DO ENXOFRE NO BRASIL**



Fonte: SECEX/MIDIC. Valores em toneladas.

No Brasil o ácido sulfúrico é utilizado nas indústrias de produtos químicos, indústrias de papel e celulose, indústrias de açúcar, siderurgia e fertilizantes. No entanto, seu maior consumidor, a indústria de fertilizantes, importa o enxofre a granel para a produção de ácido sulfúrico nas plantas localizadas próximas as jazidas de fosfato.

## 6. PREÇOS

Os preços mundiais do enxofre tiveram expressivo aumento no período 2007/2008 ocasionados, principalmente, pelo aumento da demanda da China e Índia, os maiores consumidores de fertilizantes (30,3% para China e 13,2% para Índia, conferindo o primeiro e o segundo lugares, respectivamente), redução da oferta em alguns países, inclusive com o aumento de impostos de exportação e, também, pelo aumento de custos, principalmente o frete, devido a alta do preço do petróleo.

O ácido sulfúrico seguiu o aumento dos preços do enxofre. Nos Estados Unidos, de 2007 para 2008 ele triplicou de preço, passando de U\$50-70 para U\$150-250.

No Brasil, de acordo com a Caraíba Metais, o ácido sulfúrico, entre janeiro e agosto de 2007 foi comercializado entre R\$ 80,00 e R\$ 90,00, atingindo o patamar de R\$ 270,00 de novembro de 2007 até maio de 2008, quando começou a ser comercializado entre R\$ 330,00 e R\$ 350,00 até setembro de 2008, quando atingiu o preço de R\$ 420,00 no mês de outubro. A partir daí, com a crise mundial, houve queda no preço ao patamar de R\$ 200,00 nos meses de novembro e dezembro de 2008.

A Tabela 3 mostra a série histórica do preço do enxofre nos EUA, no Brasil no Canadá e também do Ácido Sulfúrico, com sua visualização no Gráfico 6.

Com o início da crise econômica mundial em outubro de 2008 praticamente todos os bens minerais tiveram quedas nos preços e isso não foi diferente para o enxofre, talvez o bem mineral que tenha tido a maior queda, já que ele voltou a ser comercializado nos patamares anteriormente praticados (US\$/t 60,00 – Canadá-Vancouver) ou até inferiores.

## 7. PERSPECTIVAS

O Brasil não possui reservas suficientes de enxofre que possam atender a demanda interna. No entanto, apesar de não constar na lista de grandes produtores de enxofre, o país é o sétimo maior produtor de ácido sulfúrico (Fonte: ANDA), assim como o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo. Deste modo, a importação de enxofre tem onerado a balança comercial brasileira, principalmente no ano de 2008, em que ocorreu um aumento expressivo nos preços desse bem mineral.

A manutenção dos preços praticados antes do início da crise poderia viabilizar projetos anteriormente inviáveis, como o depósito de enxofre de Castanhal (SE) e o rejeito do Carvão de Santa Catarina, mas o que se verificou após o início da crise foi à queda dos preços.

**Tabela 8**  
**PREÇOS DO ENXOFRE NO BRASIL, NOS EUA E CANADÁ, ASSIM COMO DO ÁCIDO SULFÚRICO**

|                              | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008 <sup>p</sup> |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| Enxofre EUA(1)               | 37,81 | 24,73 | 10,01 | 11,84 | 28,71 | 32,5  | 35    | 32,85 | 36,29 | 100,00            |
| Enxofre Canadá-Vancouver (2) | 36,66 | 37,87 | 20,4  | 37,83 | 64    | 60    | 65    | 52,5  | 84    | 445               |
| Ácido Sulfúrico Brasil (3)   | 41,59 | 48,96 | 48,98 | 32,37 | 57,19 | 94,86 | 82,67 | 67,03 | 96,83 | 448,30            |
| Ácido Sulfúrico Brasil (4)   | 43,8  | 45,4  | 40,2  | 35,5  | 59    | 91,5  | 92,5  | 73,5  | 142   | 360               |

Fonte: (1) USGS. US\$/t FOB (2) ANDA – Anuário Estatístico Setor de Fertilizantes. US\$/t FOB (3) Elaboração DNPM/DIDEM com base nas informações das empresas Votorantim e Anglo Gold Ashanti. (4) ANDA, vendas industriais, média da Copebrás Cubatão e Ultrafertil Cubatão. Valores em US\$/t. <sup>p</sup> Preliminar.

Assim, espera-se a continuidade do aumento da produção de enxofre oriundo do petróleo e gás natural e como subproduto de sulfetos metálicos, como vem ocorrendo ao longo dos anos. Nesse contexto, as empresas Itafós, que explora fosfato em Arrais-TO, e que foi comprada pela empresa canadense Yamana, pretendem juntas aproveitar o rejeito piritoso da mineração de cobre e ouro em Alto Horizonte – Goiás, para produzirem 250 mil toneladas/ano de ácido sulfúrico.

Em relação à produção de enxofre recuperado do petróleo, já foi anunciado pela empresa Petrobrás investimentos na instalação de unidades de dessulfurização de derivados de petróleo na faixa de destilação do óleo diesel, sendo que cada uma das refinarias da estatal seria equipada com pelo menos uma unidade dessas, muitas das quais dotadas de unidades recuperadoras de enxofre (URE).

Além das perspectivas de maior produção de enxofre, o que deve ocorrer também é o aumento das importações, já que novas plantas de ácido sulfúrico estão sendo anunciadas pelas empresas para suprirem o aumento da produção de rocha fosfática, pois novas minas entrarão em operação assim como haverá expansão das já existentes. Em Anitápolis, por exemplo, a Bunge e a Yara pretendem produzir 200 mil t de ácido sulfúrico ao ano, importando para isso 70 mil t de enxofre pelo porto de Imbituba-SC. O início das operações, no entanto, depende de negociações com o Ministério Público e os ambientalistas. A Bunge pretende também expandir a planta de Ácido Sulfúrico do Complexo de Araxá assim como investir R\$ 36 milhões numa planta em Iperó-SP, produzindo assim 216 mil toneladas de Ácido Sulfúrico, mas neste caso, o começo das operações de lavra da mina de fosfato também depende do aval dos órgãos ambientais, pois a jazida encontra-se inserida numa Floresta Nacional – FLONA.

A ocorrência do enxofre, como já dito, acha-se bem distribuída no planeta e os especialistas apontam que não haverá problemas no seu fornecimento futuro, mesmo com o crescimento da demanda, continuando o Brasil a ser mero importador desse bem mineral.

## 8. APÊNDICES

### 8.1. GLOSSÁRIO DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Anidrita ( $\text{CaSO}_4$ )  
Arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ )  
Barita ( $\text{BaSO}_4$ )  
Calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ )  
Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ )  
Esfalerita ( $\text{ZnS}$ )  
Enxofre (S)  
Galena ( $\text{PbS}$ )  
Gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )  
Pirita ( $\text{FeS}_2$ )  
Pirrotita ( $\text{FeS}$ )  
PETROBRÁS – Petróleo Brasileiro S.A.  
PETROQUISA – PETROBRÁS Química S.A.  
PETROMISA – PETROBRÁS Mineração S.A.  
Six – Superintendência da Industrialização do Xisto  
CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Copebrás – Cia Petroquímica Brasileira  
Fosfétil – Fertilizantes Fosfatados SA  
Ultrafétil SA

### 8.2. NOMENCLATURA COMUM DO MERCOSUL

#### Bens Primários:

25.02.00.00 – Pirita de ferro não ustulada  
25.03.00.10 – Enxofre a granel, exc. Sublimado, precipitado  
25.03.00.90 – Outras formas de enxofre, exc. Sublimado

#### Compostos Químicos:

28.07.00.10 – Ácido Sulfúrico

### 8.3. BIBLIOGRAFIA

ANDA, 2003 a 2007, Principais Indicadores do setor – Importações de Fertilizantes Intermediários – ANDA – São Paulo – SP. (online). Disponível em: <http://www.anda.org.br/portug/estatisticas.aspx>

Anuário Mineral Brasileiro , 1996 a 2005 – DNPM/MME – Brasília – DF.

Associação Brasileira da Indústria Química: <http://www.abiquim.org.br/>

Dardenne, Marcel Auguste e Schobbenhaus, Carlos. Metalogênese do Brasil. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.

Straaten, Peter van. Agrogeology: the use of rocks for crops., 2007

Sumário Mineral Brasileiro, 1996 a 2007 – DNPM/MME – Brasília – DF.

Ober. J.A., 1998 a 2007. Mineral Commodity Summaries. USGS., Washington, U.S. Bureau of Mines Annual.(online). Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/sulfur/index.html>

Ober. J.A., 1996 a 2007. Mineral Industry Surveys – Sulfur. USGS., Washington, U.S. Bureau of Mines Annual. (online). Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/sulfur/index.html#mis>

Luz A. B. da, Lins, F.A.F. , 2005. Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações. CETEM/ MCT, Rio de Janeiro

Greenwood, N.N., Earnshaw. A., 1998. Chemistry of the Elements; Butterworth Heinemann, Leed, UK.

United Nation Statistics Division, 2000. Demographic Yearbook . (online). Disponível em: <http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/dyb/DYB2000/Table01.pdf>

Attuy, G., 03/05/2005. PETROBRAS investira 4 bi em gasolina e diesel menos poluentes.(online). Acessado em 13/03/06. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br>

L. F., Nascimento.M., 2003. Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e competitiva. CETEM/MCT – Rio de Janeiro. (online). Disponível em: [http://www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM\\_SED\\_53.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/CETEM_SED_53.pdf)