

## Reaproveitamento energético – preservação ambiental e competitividade econômica

Edson Carvalho Rocha Junior; Centro Universitário SENAC, São Paulo, SP, Brasil –  
[edson.rocha@bunge.com](mailto:edson.rocha@bunge.com)

Dr.Luiz Alexandre Kulay; Centro Universitário SENAC, São Paulo, SP, Brasil -  
[luiz.akulay@sp.senac.br](mailto:luiz.akulay@sp.senac.br)

### Resumo

Novas alternativas de geração de energia se tornaram primordiais tanto para as principais potências mundiais como para os países emergentes. Com isso, o desenvolvimento econômico mundial, a modernização do Ocidente e o aumento dos padrões de vida de uma sociedade cada vez mais capitalista e globalizada, impulsionaram a busca por fontes energéticas renováveis, sustentáveis e pelo interesse pela auto-suficiência energética.

Com o desenvolvimento de novas técnicas e otimizações de processo, a cogeração de energia a partir do vapor tornou-se uma ferramenta fundamental para maior competitividade das instituições. A implantação dessa tecnologia resulta positivamente na diminuição dos impactos ambientais e na maior sustentabilidade econômica do setor.

Atualmente, as produções de energia elétrica a partir de fontes energéticas renováveis e limpas estão em pleno desenvolvimento. Sistemas de produção de vapor a partir de biomassa como cana de açúcar, madeira, etc. já representam 3,24% do abastecimento, dando ao setor energético brasileiro uma maior autonomia e confiabilidade.

Com a aplicação do sistema MDL, o sistema de implantação de cogeração de energia, vem sendo adotado por diversas instituições, pois além do benefício da preservação ambiental e do reaproveitamento energéticos, proporciona ainda a sustentabilidade e a competitividade no mercado, pois o impacto de redução no custo de industrialização é de forma relevante. Em unidades de Ácido Sulfúrico a principal fonte energética é a produção de vapor gerado a partir de uma caldeira de recuperação e, além disso, como todas as etapas para a produção de ácido sulfúrico são exotérmicas, a recuperação de calor produzido no processo permite a geração de vapor extra, seja para produzir energia elétrica em turbogeradores, ou para ser utilizado diretamente em outras unidades produtivas.

De maneira geral, com a implantação de um sistema de cogeração de energia, o vapor que antes era “exausto” gratuitamente para a atmosfera, passa por um processo de condensação e retorna ao processo visando o reuso da água. Como todo processo em cadeia, o reaproveitamento do vapor, impacta na diminuição da captação de água bruta, do uso de produtos químicos tanto para o tratamento de potabilização da água como para a regeneração de resinas, a diminuição na geração de efluentes das baterias de leito compacto como a geração de “torta” pela Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos.

Com isso, além da visão ambiental, as otimizações energéticas de produção e processo preparam o setor industrial para um possível crescimento econômico nacional que pode provocar uma restrição no fornecimento de energia como o efeito do “Apagão”, bem como o aumento das tarifas energéticas, e dão ao setor uma maior sustentabilidade econômica para enfrentar a competitividade do mercado.

**Palavras-Chave:** Reaproveitamento energético, cogeração de energia e impactos ambientais.

## 1. Introdução

As civilizações humanas dependem cada vez mais de um elevado consumo energético para sua subsistência. Para isso foram sendo desenvolvidos ao longo da história diversos processos de produção, transporte e armazenamento de energia. Novas alternativas de geração de energia se tornaram primordiais tanto para as principais potências mundiais como para os países emergentes. Com isso, o desenvolvimento econômico mundial, a modernização do Ocidente e o aumento dos padrões de vida de uma sociedade cada vez mais capitalista e globalizada, impulsionaram a busca por fontes energéticas renováveis, sustentáveis e pelo interesse pela auto-suficiência energética.

Segundo HINRICHS; KLEINBACH [1], o acesso as matrizes energéticas adequadas e confiáveis, com o desenvolvimento do setor energético, e o suprimento e abastecimento de energia, proporcionaram ao consumidor a compra de energia do fornecedor de sua preferência sem importar-se com o custo. Muitas pessoas decidiram comprar energia de fornecedores que poluissem menos, as chamadas alternativas de “energia verde”.

A palavra “energia” é definida por diversos autores, como “a capacidade de realizar trabalho”; “energia não se cria, se transforma”, entre outras definições e conceitos. Tão importante quanto à definição do que seja energia, é o fato de que a mesma existe em grande quantidade no universo e que ela não aumenta nem diminui, mas passa por inúmeras transformações.

Para RICHARD BALZHISER (1985 apud HINRICHS; KLEINBACH [1], p.232):

Energia não é um fim em si mesma. Os objetivos fundamentais que devemos ter em mente são uma economia e um ambiente saudável. Temos que delinear nossa política energética como um meio para atingirmos estes objetivos, e não apenas para este país (EUA), mais em termos globais.

Outro ponto importante, é que as principais fontes energéticas utilizadas para a geração de energia elétrica são obtidas a partir de combustíveis não renováveis (petróleo, gás natural, carvão, etc.) que causam grandes limitações, bem como suas conseqüências ambientais em um futuro próximo.

## 2. A matriz energética brasileira

A matriz energética do Brasil é composta por diversas fontes energéticas tais como: hidroelétricas, gás (natural ou processo), petróleo, biomassa, nuclear, carvão, eólica, além disso, uma parcela precisa ser importada devido à necessidade de demanda.

Devido ao grande potencial hidroelétrico das bacias hidrográficas brasileiras, as hidrelétricas (70,17%) são as grandes responsáveis pela maior parcela do abastecimento de energia elétrica, como podemos verificar pela Tabela 1. Contudo, esse processo de produção de energia, levanta uma grande discussão em relação aos impactos ambientais, devido o represamento dos rios, inundações de áreas de mata virgem, entre outros.

Tabela 1 - Matriz Energética Brasileira.

Empreendimentos em Operação							
Tipo		Capacidade Instalada		%	Total		%
		N.º de Usinas	(kW)		N.º de Usinas	(kW)	
Hidro		599	71.390.105	70,17	599	71.390.105	70,17
Gás	Natural	72	9.886.953	9,72	98	10.812.701	10,63
	Processo	26	925.748	0,91			
Petróleo	Óleo Diesel	499	3.455.583	3,4	517	4.619.553	4,54
	Óleo Residual	18	1.163.970	1,14			
Biomassa	Bagaço de	222	2.286.190	2,25	263	3.299.069	3,24
	Licor Negro	13	782.617	0,77			
	Madeira	24	203.832	0,2			
	Biogás	2	20.030	0,02			
	Casca de Arroz	2	6.400	0,01			
Nuclear		2	2.007.000	1,97	2	2.007.000	1,97
Carvão	Carvão Mineral	7	1.415.000	1,39	7	1.415.000	1,39
Eólica		10	28.550	0,03	10	28.550	0,03
Importação	Paraguai		5.650.000	2,33		8.170.000	8,03
	Argentina		2.250.000	5,85			
	Venezuela		200.000	0,08			
	Uruguai		70.000	0,2			
Total		1.496	101.741.978	100	1.496	101.741.978	100

Fonte: ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica [2]

Atualmente, as produções de energia elétrica a partir de fontes energéticas renováveis e limpas estão em pleno desenvolvimento. Sistemas de produção de vapor a partir de biomassa como cana de açúcar, madeira, licor negro, já representam 3,24% do abastecimento, dando ao setor energético brasileiro uma maior autonomia e confiabilidade.

Um outro combustível segundo HINRICHES; KLEINBACH [1] que vem ganhando destaque neste setor é o biodiesel, que pode ser utilizado como fonte de energia e que tem como principais vantagens, a alta competitividade frente a alternativas para a redução de poluição, redução da emissão de materiais particulados, de monóxido de carbono, etc.

### 3. Panorama das indústrias de fertilizantes no Brasil

No Brasil, as culturas voltadas para a exportação como soja, café, cacau e laranja tomaram grande impulso a partir de 1971, pois até a década de 70, a demanda nacional de fertilizantes era atendida na sua maioria, por importações.

Estes fatos resultaram em 1973, na elaboração do I Plano Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola com o objetivo de ampliar e modernizar a indústria nacional de fertilizantes. Com isso, o país evoluiu para uma situação de atendimento quase total, de suas necessidades de matéria-prima como amônia, rocha fosfática, ácido sulfúrico e fosfórico.

Nesse período, o segmento de fertilizantes nitrogenados evoluiu de uma situação próxima de 40% para 88% de atendimento das necessidades internas; e quanto aos fertilizantes fosfatados, a partir de 1982, praticamente não houve mais importações segundo RIBEIRO [3].

Atualmente, houve o surgimento de novas empresas no mercado de fertilizantes e, além disso, grandes multinacionais passaram a incorporar esse setor que apesar da sua sazonalidade, é de grande lucratividade. Além do total suprimento de fertilizantes no setor agrícola brasileiro, uma pequena parcela tem se destinado a novas fronteiras, principalmente para países sul-americanos.

Com a evolução e o crescimento do setor de fertilizantes, os sistemas de gestões energéticas cada dia estão sendo desenvolvidos e aprimorados, para dar sustentabilidade as instituições por meio de ações nas políticas energéticas, planejamento, coordenação, acompanhamento e controle, identificação de alternativas, elaboração e execução de projetos. Dentro dessa sustentabilidade podemos mencionar a importância do maior aproveitamento energético das unidades de ácido sulfúrico.

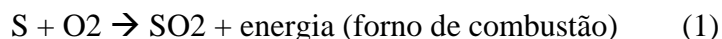
#### **4. A fonte energética da unidade de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).**

A principal fonte energética de uma indústria de Fertilizantes, integrada com uma Unidade de Ácido Sulfúrico é a produção de vapor gerado a partir de uma caldeira de recuperação.

Como todas as etapas produção de ácido sulfúrico são exotérmicas, a recuperação de calor produzido no processo permite a geração de vapor extra, seja para produzir energia elétrica em turbogeradores, ou para ser utilizado diretamente em outras unidades produtivas.

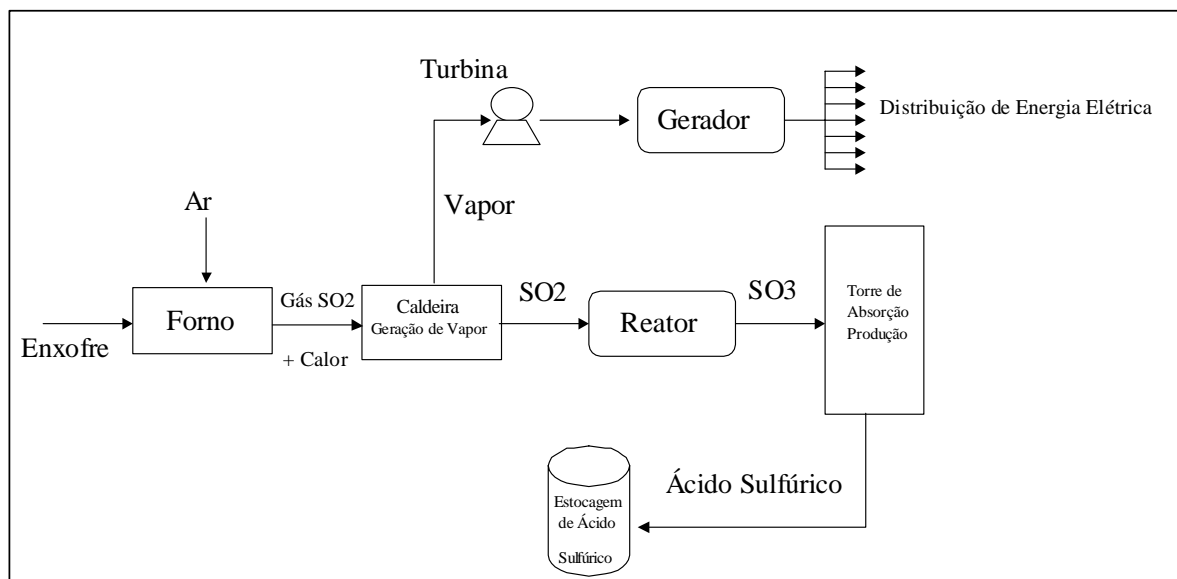
De acordo com HORLOCK [4], o calor liberado e de tal ordem, que uma unidade de produção de ácido sulfúrico pode ser considerada como uma usina de geração de energia conforme mostra a Figura 1.

Segundo TOPSOE; NIELSEN [5], o fluxograma de produção de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> consiste na: fusão do enxofre ainda no estado sólido por meio de vapor saturado de baixa pressão, filtração e enviado a seguir ao forno de combustão, juntamente com o ar de queima (ar seco). Os gases de combustão deixam o forno à 1100°C e são resfriados em uma caldeira de recuperação de calor a 425°C, que produz o vapor saturado, sendo uma parcela transformado em superaquecido e destinado para outras áreas industriais. Já os gases SO<sub>2</sub> formados a partir do processo de combustão, são resfriados e em seguida, são enviados a um reator de leito catalítico para a conversão de SO<sub>2</sub> em SO<sub>3</sub> conforme as reações abaixo:



Após esse processo, o SO<sub>3</sub> é enviado para as torres de absorção para a produção do ácido sulfúrico. Este processo de conversão e absorção apresentam rendimentos de aproximadamente 99.7%.

CEKINSKI [6] relata que para se obter o sistema completo de recuperação de calor, é necessário incluir outros cruzamentos de correntes quentes e frias, sempre com o objetivo de recuperar a energia gerada no processo.



**Figura 1** - Fluxograma Básico de Processo – Unidade de Ácido Sulfúrico.

Um ponto importante com relação à segurança e saúde do trabalhador segundo NIOSH [7] são que concentrações significantes de  $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$  no ar nas fábricas de ácido sulfúrico são atribuíveis a vazamentos e emissões de gás; portanto, devem estar disponíveis os equipamentos de proteção respiratória para o atendimento a emergência. A emissão de catalisador de pentóxido de vanádio do processo de contato pode oferecer risco aos trabalhadores.

Controle efetivo pode ser conseguido pela manutenção dos processos em circuito fechado e com o uso das técnicas de manuseio de material que diminuem o contato do empregado. Diques de contenção devem ser instalados para o caso de ruptura de tanques e tambores de contenção apresentarem rompimentos. O ácido não deveria ser armazenado perto de agentes redutores por causa dos riscos de incêndio e de explosão. Roupas de proteção impermeáveis, proteção para os olhos, e chuveiros de emergência devem estar disponíveis no local de trabalho.

## 5. Cogeração de energia – preservação ambiental e sustentabilidade econômica.

De acordo com HINRICHS; KLEINBACH [1] foi estabelecido no Protocolo de Kyoto, o sistema MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, passou a ser um incentivo para que empresas de países industrializados investirem em projetos elegíveis de redução de emissões em países em desenvolvimento.

Juntamente com a aplicação do sistema MDL, o sistema de implantação de cogeração de energia, vem sendo adotado por diversas instituições, pois além do benefício da preservação ambiental e do reaproveitamento energéticos, proporciona ainda a sustentabilidade e a competitividade no mercado, pois o impacto de redução no custo de industrialização é de forma relevante.

-A cogeração apresenta algumas vantagens tais como:

-Melhor qualidade de energia produzida – Energia “Clean”;

-Recuperação e reaproveitamento de todo o vapor exausto para a atmosfera e as conseqüentes perdas de energia e água;

- Redução da captação e tratamento de água dos rios;
- Redução de produtos químicos para o tratamento da água – potável (sulfato de alumínio, hipoclorito de sódio e soda caustica), desmineralizada (regeneração das resinas catiônicas e aniônicas - ácido sulfúrico e soda cáustica respectivamente);
- Redução da geração de efluentes líquidos, proporcionando também a redução de “torta” pela Estação de Tratamento de Efluentes;
- Menor custo de energia elétrica;
- Maior confiabilidade de fornecimento, transmissão e distribuição de energia;

De maneira geral, com a implantação de um sistema de cogeração de energia com turbina de ação-reação com condensação total acoplado a um gerador, o vapor que antes era “exausto” gratuitamente para a atmosfera, passa por um processo de condensação e retorna ao sistema de águas desmineralizada (sem a presença de íons). Posteriormente, o vapor condensado é totalmente reaproveitado na caldeira para a produção de vapor e conseqüentemente de energia elétrica fechando assim o ciclo. O ciclo hídrico da unidade de ácido sulfúrico que anteriormente era “aberto”, passou a ser “semi-fechado” devido às otimizações e os reaproveitamentos energéticos, como mostra em detalhe a Figura 2.

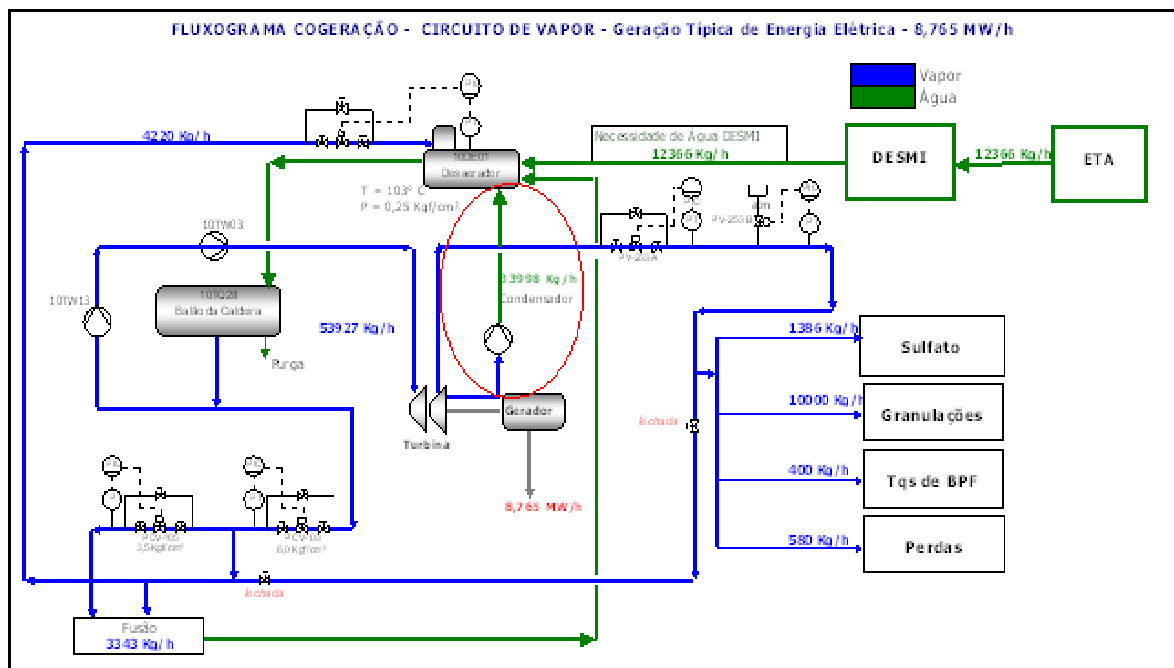


Figura 2 - Fluxograma Hídrico com Cogeração de Energia da Unidade de Ácido Sulfúrico.

Com isso, a necessidade de reposição de água desmineralizada para a produção de vapor diminui. No entanto, esse decréscimo é influenciado conforme algumas variáveis de processo tais como: perdas energéticas do sistema, quantidade de vapor destinado a outras áreas do complexo industrial, carga (ton/h) da unidade de ácido sulfúrico, produção (KWh) de energia elétrica, etc.

Segundo MANFRINI [8], para a potabilização da água bruta (captada dos mananciais), a qual é utilizada na unidade produtora de água desmineralizada (Desmi), é necessário o tratamento com agentes químicos como: sulfato de alumínio (sedimentação de materiais particulados), soda cáustica (correção do pH) e hipoclorito de sódio (cloração e

desinfecção), e em consequência de todas essas modificações, a captação de água dos mananciais e o uso de produtos químicos diminuem proporcionalmente de acordo com o reaproveitamento do vapor exausto pela turbina.

Outro ponto importante é a unidade geradora de água desmineralizada (Desmi), que também sofre um impacto direto na diminuição do uso de produtos químicos utilizados para a regeneração das resinas catiônicas (regenerante – ácido sulfúrico) e aniônicas (regenerante - soda cáustica) como na diminuição de geração de efluentes devido a menor frequência de regenerações e retrolavagem das resinas dos leitos.

Todos os efluentes líquidos gerados na unidade são destinados a ETEL – estação de tratamento de efluentes líquidos, para serem tratados com cal virgem e serem reutilizados na forma de “torta” nas granulações de uma unidade de fertilizantes. A “torta” por ser rica em tetrafluoreto de silício, fosfato de cálcio, fluoreto de cálcio, fluórsilicato de sódio, sulfato de cálcio, é usada como complemento nas formulações para a produção de fertilizantes.

Como todo processo em cadeia, a diminuição de um fator do elo, faz com que todo o sistema seja modificado, ou seja, com o reaproveitamento do vapor exausto pela turbina, impacta na diminuição da captação de água bruta, do uso de produtos químicos tanto para o tratamento de potabilização da água como para a regeneração de resinas, a diminuição na geração de efluentes das baterias de leite compacto como a geração de “torta” pela ETEL, conforme se verifica por meio da Figura 3.

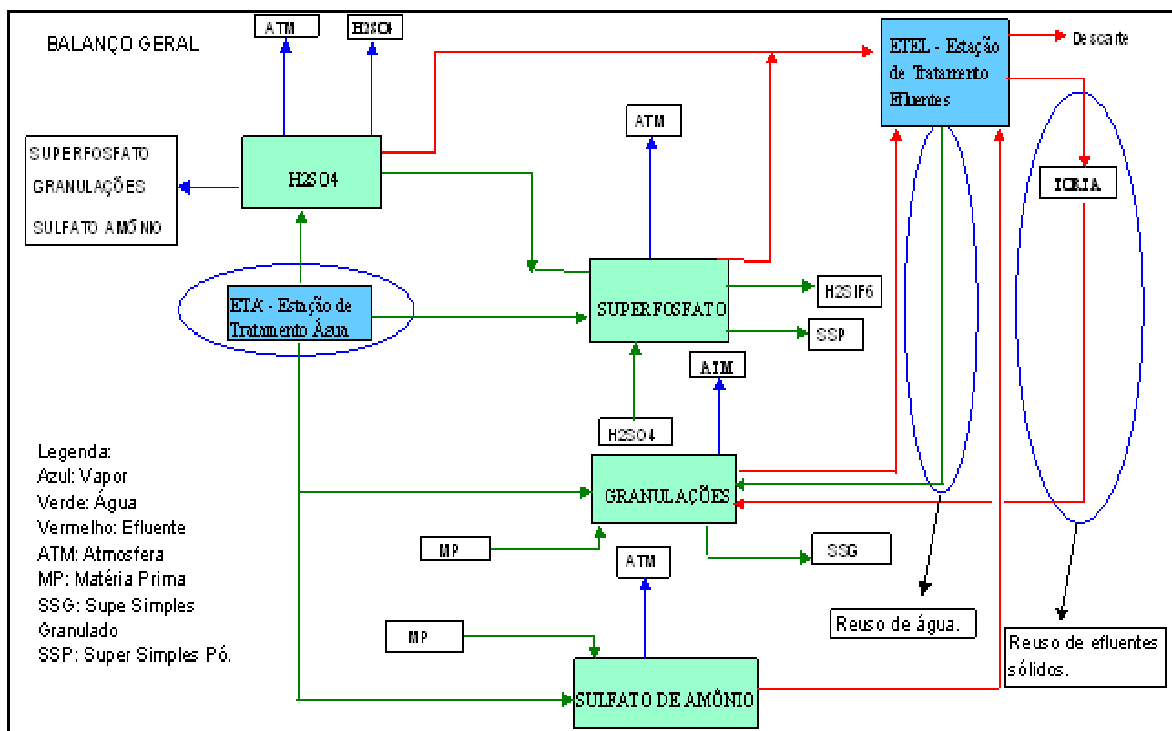


Figura 3 - Fluxograma Geral de uma Unidade de Fertilizantes.

## 6. Conclusões.

Com o aproveitamento energético temos como grandes ganhos: a redução dos impactos ambientais, menor custo de energia, maior sustentabilidade econômica e competitividade no mercado, etc.

Além da visão ambiental, as otimizações de produção e processo, preparam o setor industrial para um possível crescimento econômico nacional que pode provocar uma restrição no fornecimento de energia como o efeito do “Apagão”, bem como o aumento das tarifas energéticas, e dão ao setor uma maior sustentabilidade econômica para enfrentar a competitividade do mercado.

## 7. Referências bibliográficas

- [1] HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. Energia e meio ambiente. Tradução da 3ª Edição norte-americana por Leonardo Freire de Melo. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 12/04/2006.
- [3] RIBEIRO, E.D.L, etal. Elaboração do uso de energia na industrial de fertilizantes em Minas Gerais. Belo Horizonte: Cemig, 1986
- [4] HORLOCK, J.H. Cogeneration: Combined Heat and Power. Thermodynamics and Economics. Oxford: Pergamon Press, 1987.
- [5] TOPSOE, H.; NIELSEN, A. The action of vanadium catalysts in the sulfur trioxide synthesis. Denmark: 1948.
- [6] CEKINSKI, E, etal. Manual de recomendações de conservação de energia na indústria de fertilizantes. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, 1985.
- [7] NIOSH, Criteria for a Recommended Standard- Occupational Exposure to Sulfuric Acid, HEW Publ. Nº (NIOSH) 74-128, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, 1974.
- [8] MANFRINI, C, etal. Técnicas de abastecimento e tratamento de água. 2ª Edição revisada. São Paulo: Cetesb, 1977.



## **7. Contato.**

Autor: Edson Carvalho Rocha Júnior

Endereço: São Caetano do Sul, São Paulo, Brasil.

E-mail: [edson.rocha@bunge.com](mailto:edson.rocha@bunge.com)

Profissão: Gerente Industrial

Formação: Engenheiro

Tel.: 13- 33693101