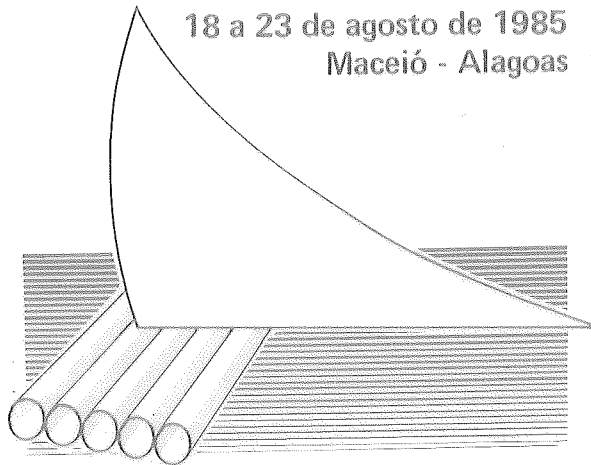


18 a 23 de agosto de 1985
Maceió - Alagoas



ABES - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

13^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

61

ARQUIVO TÉCNICO

ESTIMATIVA DO CUSTO DE CONTROLE DE DIÓXIDO DE ENXOFRE NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

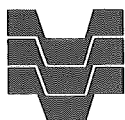
8500
As79e
014279



05264

014279





CETESB

Diretor Presidente: Werner Eugênio Zulauf. **Diretor Financeiro:** Paulo Bezerril Junior. **Diretor Administrativo:** Antonio Alves de Almeida. **Diretor de Engenharia:** Nelson Mansour Nabhan. **Diretor de Controle:** Nelson Vieira de Vasconcelos. **Diretor de Planejamento Ambiental:** Fredmar Corrêa. **Diretor de Pesquisa:** Samuel Murgel Branco.

ESCRITÓRIO CENTRAL

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros
São Paulo - CEP 05459 - Telefone: (DDD 011) 210-1100
Telex (011) 222-46 - CTS - BR

UNIDADES REGIONAIS E ESCRITÓRIOS

● Estado de São Paulo

Araçatuba: Rua Silva Jardim, 906
Fone: (0186) 23.6838 - CEP 16.100
Araraquara: Av. Espanha, 188
Fone (0162) 32.2211 - CEP 14.800
Bauru: Rua Gerson França, 11-60
Fone: (0142) 23.8466 - CEP 17.100
Campinas: Rua São Carlos, 287
Fone: (0192) 32.3366 - CEP 13.100
Cubatão: Rua Assembléia de Deus, 39 Salas 405 e 407
Fone: (0132) 61.1660 e 611301 - CEP 11.500
Franca: Av. Champagnat, 1808
Fone: (016) 723.9700 - CEP 14.400
Guarulhos: Rua Brás Cubas, 95
Fone: (011) 209.8413 - CEP 07.000
Ipiranga: Rua Caramuru, 573
Fone: (011) 275.7102 - CEP 04138
Marília: Av. Sampaio Vidal, 106
Fone: (0144) 33.8879, 33.8521, 33.8733 - CEP 17.500
Mogi das Cruzes: Rua Prof. Floriano de Melo, 330
Fone: (011) 469.3490 - CEP 08.700
Novo Horizonte: Av. da Saudade, s/n
Fone: (0175) 42.1950 - CEP 14.960
Osasco: Rua Nathanael Titto Salmon, 268
Fone: (011) 801.9736 - CEP 06.000
Piracicaba: Rua Moraes Barros, 264
Fone: (0194) 34.5132 - CEP 13.400
Presidente Prudente: Rua Siqueira Campos, 699
Fone: (0182) 22.1044 - CEP: 19.100
Ribeirão Preto: Rua Amador Bueno, 1294/1302
Fone: (016) 634.6044, 634.4536, 625.9500
- CEP 14.100
Santana: Av. Gal. Ataliba Leonel, 379
Fone: (011) 267.7562 - CEP 02.033
Santos: Rua Itapura de Miranda, 158
Fone: (0132) 33.7127, 32.9550 - CEP 11.100
Santo André: Rua Juquiá, 555
Fone: (011) 444.3519, 444.5767 - CEP.: 09.000
São Bernardo do Campo: Av. Brig. Faria Lima, 360
Fone: (011) 443.4188 - CEP 09700
Sorocaba: Av. Dr. Eugênio Salermo, 157
Fone: (0152) 31.4877, 312065 - CEP 12.100
Tatuapé: Rua Henrique Setorio, 221
Fone: (011) 217.7505 - CEP 03.066
Taubaté: Rua Itambé, 38
Fone: (0122) 32.4829, 324900, 32.4867 - CEP 12.100

● Outros Estados

Florianópolis - SC

Rua João Pinto, 6 - 2º andar - s/203
Fone:(0482) 22.7690 - CEP 88.000

Recife - PE

Rua das Fronteiras, 160
Fone: (081) 222.1013 - CEP 50.000

ESTIMATIVA DO CUSTO DE CONTROLE DE DIÓXIDO DE ENXOFRE NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

João Vicente de Assunção
Eng.^o Químico, Sanitarista e de Segurança
Mestre em Higiene e Poluição do Ar
Aurélio Libanori
Economista
Mestre em Economia
Arlindo Philippi Junior
Eng.^o Civil e Sanitarista
Mestre em Saúde Pública
ASSISTÊNCIA AO PROCOP

INTRODUÇÃO

Tendo em vista os altos níveis de dióxido de enxofre que tem sido verificados na Região Metropolitana de São Paulo, bem acima do padrão de qualidade do ar estabelecido, acarretando em consequência efeitos adversos à saúde pública, além de outros efeitos, o Governo do Estado de São Paulo, através da CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, iniciou em 1982 um programa de controle a fim de reduzir as concentrações de dióxido de enxofre a níveis que atendam ao padrão estabelecido. A redução necessária nas emissões desse poluente, para atender o padrão de qualidade do ar, é de 66%, de acordo com o modelo proporcional adotado pela CETESB, sendo a meta atingir essa redução até dezembro de 1985. A distribuição das emissões de SO₂ na Região Metropolitana de São Paulo por tipo de fonte é apresentada no quadro 1.

QUADRO 1 - DISTRIBUIÇÃO DAS EMISSÕES DE DIÓXIDO DE ENXOFRE NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO - POR TIPO DE FONTE (1980)

| FONTE DE POLUIÇÃO | EMIÇÃO (t/dia) | CONTRIBUIÇÃO (%) |
|--|----------------|------------------|
| Processos e operações industriais | 24 | 3,0 |
| Queima de combustíveis em fontes estacionárias | 635 | 78,8 |
| Incineração de resíduos sólidos | 1 | 0,1 |
| Veículos a gasolina | 49 | 6,1 |
| Veículos diesel | 97 | 12,0 |
| T O T A L | 806 | 100 |

A estratégia de controle adotada pela CETESB prevê as seguintes exigências para as fontes estacionárias existentes:

| | |
|-------|-------------|
| CLASS | |
| A BCR | |
| COMBO | 014279 ex.2 |

- as fontes estacionárias de queima de combustível, com emissão maior que 158 Kg/dia de SO₂, terão que atender ao limite máximo de emissão de 20 Kg de SO₂ por tonelada de óleo combustível queimado (com base na cota de óleo de 1981). Esse limite equivale a uma redução de 80% na emissão para o caso de queima de óleo combustível de alto teor de enxofre (BPF - máximo de 5% de enxofre) permitindo que essa redução seja atingida com a utilização de sistema de dessulfurização na fonte (controle direto), pela mudança para óleo de baixo teor de enxofre (BTE - máximo de 1% de enxofre) ou pela utilização de energia elétrica;
- os processos e operações industriais que emitem dióxido de enxofre terão que controlar a emissão utilizando a melhor tecnologia prática disponível, conforme definido pela CETESB.

O quadro 2 apresenta a emissão residual de dióxido de enxofre com a aplicação da estratégia adotada pela CETESB.

QUADRO 2 - EMISSÃO RESIDUAL DE SO₂ COM A APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA ADOTADA *

| FONTE | EMISSÃO SEM CONTROLE (t/dia) | EMISSÃO RESIDUAL (t/dia) | REDUÇÃO (%) |
|--|------------------------------|--------------------------|-------------|
| Processos e operações industriais | 24 | 4,8 | 80 |
| Queima de combustíveis em fontes estacionárias | | | |
| - Óleo BPF | 561 | 150 | 73,3 |
| - Óleo BTE | 41 | 41 | 0 |
| - Óleo Diesel | 12 | 9,2 | 23 |
| - Óleo OC 4 | 8,4 | 4,6 | 45,2 |
| - Óleo mistura 25 | 4,5 | 1,3 | 71,1 |
| - Óleo mistura 50 | 5,4 | 1,8 | 66,7 |
| - Óleo mistura 75 | 0,3 | 0,1 | 66,7 |
| - Outros combustíveis | 2 | 2 | 0 |
| Queima de resíduos sólidos | 1 | 1 | 0 |
| Veículos a gasolina | 49 | 49 | 0 |
| Veículos Diesel | 97 | 97 | 0 |
| TOTAL | 806 | 362 | 55,1 |

* Estratégia Adotada: Exigência de Controle segundo a melhor tecnologia prática disponível nas emissões provenientes de processos e operações industriais e emissão máxima de 20Kg de SO₂ por tonelada de óleo queimado, para fontes que emitem acima de 158Kg/dia.

A avaliação do impacto econômico desse Programa de Controle torna-se importante para o conhecimento da distribuição dos custos de controle nas diversas empresas que participam deste programa. Esta informação auxiliará a tomada de decisões pelo administrador do referido programa.

Os resultados deste estudo tem importância também para as empresas poluidoras na medida em que permite o conhecimento do seu custo de controle comparativamente às demais empresas do mesmo setor ou subsetor industrial e também em relação aos demais setores industriais. Além disso as empresas terão uma visão maior do custo de controle em relação aos diversos componentes do mesmo.

Deve-se ressaltar que o estudo que será aqui descrito, pela sua natureza e abrangência, poderá apresentar resultados diferentes da realidade quando verificado individualmente, no entanto, na média, deverá estar próximo da situação real.

O distanciamento da realidade deve-se aos seguintes fatores:

- as condições específicas de cada fonte (lay-out, espaço, condições de operação, etc);
- a qualidade dos dados fornecidos pelas empresas;
- o número relativamente pequeno de sistemas para os quais se tinha dados de custo, concentrando-se principalmente nas fontes pequenas e médias;
- as assumidas que foram necessárias para os casos de falta de dados;
- o fato de que o equipamento de controle não é produzido em série tendo seus custos portanto a influência do fator demanda. Custos indiretos tem maior influência no custo final quando a produção é menor.

Deve-se ressaltar ainda que a época de realização do estudo também pode ter efeitos importantes no resultado final, havendo nesse caso um aumento dos índices encontrados em função da baixa produção industrial no período considerado (basicamente 1983 e 1984).

ETAPAS E METODOLOGIA

A execução do presente estudo envolveu as seguintes etapas e respectivas metodologias:

Levantamento e análise dos tipos de sistemas de controle de dióxido de enxofre existentes no mercado e suas características de operação, manutenção e de eficiência

O levantamento de sistemas existentes foi realizado utilizando-se os planos de controle de dióxido de enxofre das firmas atuadas pela CETESB com relação a esse poluente.

As características de operação e manutenção foram verificadas nos projetos e orçamentos apresentados à CETESB pelas indústrias atuadas, bem como em inspeção aos sistemas já instalados e em operação.

As eficiências dos sistemas foram estimadas com base nos planos de controle apresentados e em resultados de medições apresentados à CETESB.

Levantamento de informações existentes quanto aos custos de aquisição, instalação, operação e manutenção de sistemas de controle de dióxido de enxofre

Os custos relativos à implantação, aquisição, montagem etc., foram obtidos nos orçamentos apresentados à CETESB, já citados acima e nas informações fornecidas nos formulários utilizados no levantamento de campo, realizado junto às indústrias escolhidas como amostra neste estudo complementados por dados do acervo da CETESB. Considerando que a vazão de produtos de combustão em caldeiras é função principalmente da quantidade de óleo combustível queimado, utilizou-se o consumo de combustível máximo horário como parâmetro básico para o dimensionamento do sistema. Assim o custo de implantação do sistema foi considerado proporcional ao consumo máximo de combustível por hora. Das fontes pesquisadas conseguiu-se um total de 10 sistemas de controle, constituídos de lavadores com soda cáustica como líquido reagente com informações completas ou semi-completas com relação ao custo de aquisição. Os lavadores com soda foram escolhidos como base para a determinação do custo de controle por ser a tecnologia de controle direto com maior utilização até o momento. Com base no consumo máximo de óleo horário e nos custos de implantação obtidos desenvolveu-se um modelo matemático que mais se ajustava ao universo de dados existentes, adaptando-se o mesmo nos casos de outras fontes que não caldeiras.

Para determinação dos custos de operação foram considerados os seguintes itens: aqueles relativos a energia elétrica, mão-de-obra de operação, reagente, consumo de água e custo da disposição do efluente líquido. Para determinação do custo de energia elétrica utilizou-se um modelo matemático de potência total instalada (motores dos ventiladores e das bombas de recalque) em função do consumo de óleo máximo horário que serviu de base para o dimensionamento do sistema. O modelo matemático foi obtido com base nas informações constantes dos planos e/ou projetos apresentados à CETESB, complementados pelos levantamentos de campo, e o preço da demanda e do consumo de energia elétrica foi obtido junto à Eletropaulo. Para a

mão-de-obra utilizada na operação do sistema foi considerado um valor de 1 hora por turno de 8 horas tendo em vista que as informações levantadas em campo indicaram que não houve contratação de pessoal específico para essa função, sendo utilizados normalmente os operadores das caldeiras. O custo do reagente consumido foi obtido considerando-se o consumo relativo ao valor obtido pela estequiometria da reação do dióxido de enxofre com a soda considerando-se a formação de bissulfito de sódio (95%), eficiência que atenda as exigências da CETESB e 5% de enxofre no óleo combustível. O preço da soda foi obtido em pesquisa junto a fornecedora desse material e junto às indústrias pesquisadas. Para o custo relativo ao consumo de água e disposição de efluente considerou-se os valores de vazão de água e de efluente obtidos em campo, o valor cobrado pela SABESP para o esgoto e o custo da água industrial obtida de poços artesianos ou de captação nos corpos d'água considerando-se nesse último caso o custo do tratamento da água captada. O custo da água foi obtido de duas fontes sendo uma de indústria que capta água na superfície e realiza o tratamento da mesma e outra de in

formação de custo de água industrial constante dos planos de controle apresentados à CETESB. Não de considerou no presente estudo o custo do tratamento dos efluentes líquidos, tendo em vista que a definição de tratamento a ser adotado dependerá da localização de cada indústria, bem como a solução para os efluentes deve ser estudada em conjunto com a recuperação do reagente face ao alto custo relativo ao consumo de reagente, o que pode gerar inclusive uma diminuição no custo de operação.

O custo da disposição dos resíduos sólidos gerados não foram considerados significativos face ao pequeno volume gerado, sendo em consequência desprezados.

Os custos de manutenção foram estimados com base nos valores usuais de mercado e considerando-se um adicional dada a importância da boa manutenção para o funcionamento adequado do sistema.

Estimativa do custo total de controle de dióxido de enxofre, por fonte

Com base nas informações obtidas nas etapas anteriores foi estimado o custo total de controle de dióxido de enxofre pela utilização do lavador com soda cáustica.

O custo total assim obtido foi expresso em termos anuais tendo sido utilizado o método da recuperação do capital, para transformação do custo de implantação (aquisição + instalação) a esta unidade de tempo. Ao custo de implantação expresso em termos anuais foram acrescidos os custos de operação e manutenção do sistema, expressos nesta mesma unidade de tempo.

Levantamento do custo de produção e outras informações das empresas

O objetivo básico desta etapa foi obter o custo de produção das empresas e outras informações que permitissem à CETESB estimar o custo do controle de SO_2 e o impacto do mesmo no custo de produção destas empresas.

Para consecução desta etapa foram planejadas e realizadas as seguintes atividades:

a) Determinação dos setores e subsetores industriais a serem estudados

O critério para determinação dos setores industriais a serem estudados neste trabalho, foi o da significância quantitativa do número de empresas atuadas para o controle de dióxido de enxofre no setor, em relação ao total de empresas atuadas pela CETESB para este controle e; a nível de subsetor industrial foi utilizado o mesmo critério, porém considerando-se o número de empresas atuadas no subsetor em relação ao número de empresas atuadas a nível de setor.

b) Seleção das indústrias a serem estudadas em cada setor e subsetor industrial

A seleção das indústrias a serem estudadas, para avaliação do impacto do custo do controle de dióxido de enxofre, sobre o custo de produção das empresas, foi realiza-

da utilizando-se o universo das empresas atuadas pela CETESB para este fim. As empresas foram agrupadas a nível de subsetor industrial sendo então a seleção daquelas a serem estudadas.

Parte das empresas a serem estudadas foi selecionada pelo critério de amostragem intencional ou seja, foram escolhidas considerando-se alguma característica conhecida a priori, como por exemplo o porte, enquanto as demais empresas estudadas foram selecionadas de forma aleatória.

Como regra para determinação do número de indústrias a serem estudadas em cada subsetor, procurou-se sempre que possível manter-se uma razão direta entre o número de indústrias constantes do subsetor e o número de indústrias estudadas.

Os diversos setores e subsetores industriais estudados são compostos por um total de 289 empresas ou seja, 83% do total de empresas atuadas pela CETESB para o controle de dióxido de enxofre.

c) Levantamento de campo e obtenção de informações

Para obtenção de informações necessárias à avaliação do impacto do custo do controle de dióxido de enxofre, no custo de produção das empresas, foi realizado levantamento de campo.

Este levantamento consistiu em visita as indústrias selecionadas em cada subsetor a ser estudado, para entrega de formulário para obtenção de informações e explicações sobre o preenchimento do mesmo.

Durante o levantamento de campo foram entregues questionários às 181 empresas selecionadas para o estudo implicando isto em pelo menos uma visita a cada uma destas empresas.

Das empresas selecionadas duas encerraram as atividades durante o transcorrer do estudo, o que reduziu este universo para 179 empresas; destas, 11 não responderam o questionário, tendo-se obtido um total de 168 questionários respondidos, sendo utilizados para os fins propostos para o trabalho 127 questionários.

Avaliação do impacto do controle de SO₂ no custo de produção das empresas

O objetivo desta etapa do trabalho foi o de avaliar o impacto ou o incremento no custo de produção das empresas, resultante do controle das emissões de SO₂.

Uma vez que a unidade de tempo escolhida para periodização dos custos relativos ao controle de SO₂ foi a unidade ano, a avaliação do impacto ou incremento, do custo de controle deste poluente sobre o custo de produção das empresas, deve ser feito em relação a esta unidade.

Assim, a avaliação do impacto ou incremento do custo de controle de SO₂ sobre o custo de produção das empresas foi realizada com a utilização da seguinte expressão:

$$I = \frac{CTSA}{CPA} \times 100$$

Onde:

I = impacto ou incremento no custo de produção das empresas, resultante do controle de SO₂ (%)

CTSA = custo anual total do sistema de controle de SO₂

CPA = custo anual total da empresa (sem incluir o controle de SO₂)

Custo de Controle por tonelada de SO₂ removido

Além do impacto do custo de controle no custo de produção das empresas, calculou-se também o custo de controle por tonelada de dióxido de enxofre removido, através da relação entre o custo total anual do sistema (CTSA) e a quantidade de SO₂ removido por ano no sistema.

Essa informação é de grande importância pois permite estimar o gasto total numa determinada região relativo ao controle de dióxido de enxofre, se considerada a utilização da tecnologia adotada neste estudo.

CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE DESSULFURIZAÇÃO DE GASES

Considerações iniciais

Em função da predominância dos sistemas de lavagem com soda cáustica atualmente na Grande São Paulo e, considerando também que este tipo de sistema é perfeitamente capaz de atender às exigências da CETESB os custos a serem utilizados neste estudo foram determinados em função dessa solução. Ressalvamos no entanto a importância da análise das várias alternativas pelo empresário no sentido de verificar a solução mais vantajosa e conveniente para o caso específico.

Custo de implantação do sistema

A variação do custo de sistemas de controle de poluição do ar, em função do volume de gases a serem tratados, para aplicações e eficiências semelhantes, em geral satisfaz a uma função potencial do seguinte tipo:

$$CS = K Q^n$$

Sendo:

CS = custo de implantação do sistema

Q = volume real de gases a serem tratados

K = fator de proporcionalidade

n = expoente de proporcionalidade

Como a vazão de gases é proporcional à quantidade de óleo queimado pode-se substituí-la pelo consumo de óleo, tendo-se a seguinte expressão:

$$CS = K (OCH)^n$$

Sendo:

OCH = consumo máximo de óleo no equipamento a ser ventilado (Kg/h)

Os valores de K e n foram determinados através do levantamento de custos constantes dos orçamentos apresentados nos planos de controle de dióxido de enxofre, complementados por informações das indústrias e por informações do acervo da CETESB.

Os dados foram trabalhados para ajuste da curva de variação do custo versus consumo de combustível com a utilização de programa standard da calculadora HP-41CV (Curve Fitting - Power Function).

Nesse ajuste foram utilizados 8 pares de dados (X, Y) considerando-se a média dos valores de duas por serem valores muito próximos, o que poderia causar distorções nos resultados. A função obtida foi a seguinte:

$$Y = 142 (X)^{0,64}$$

O coeficiente de determinação (R^2) encontrado foi de 0,81, o que pode ser considerado satisfatório, comprovando a adequabilidade do uso deste tipo de função.

Dessa forma, os valores de K e n valem:

$$K = 142$$

$$n = 0,64$$

Assim, para caldeiras, a variação do custo de implantação em função do consumo de combustível é expressa por:

$$CS = 142 (OCH)^{0,64}$$

Sendo:

CS = custo de implantação (ORTN)

OCH = consumo de óleo máximo (Kg/h)

No que se refere a fornos de aquecimento foi utilizado $n = 0,7$ para corrigir para as seguintes diferenças:

- vazão maior em função do uso de maior excesso de ar de combustão
- maior temperatura dos gases
- maior comprimento de dutos em função da localização mais difusa dos fornos dentro da indústria

A fórmula obtida para fornos foi testada contra os custos fornecidos por duas indústrias que tinham orçamento para instalação de sistemas de dessulfurização em fornos, obtendo-se uma concordância aceitável de valores.

No caso de fontes que apresentam vazão de gases muito maior que aquela proveniente da queima de combustível (secadores de material cerâmico, secadores de fertilizantes e fornos de fusão) utilizou-se o consumo de combustível equivalente obtido pela relação entre a vazão real e a vazão proveniente da queima de 1 Kg de óleo a 200°C e 700 mm Hg (28m³/h).

Outro fator considerado no estudo foi a redução do custo relativo ao dessulfurizador em função da combinação do controle de SO₂ e material particulado num mesmo sistema. Essa combinação pode ser no sentido de utilização do mesmo lavador para controlar os dois poluentes ou dois equipamentos (um para SO₂ e outro para material particulado) que se servem do mesmo sistema de exaustão (captore, dutos, chaminé e ventilador). No primeiro caso considerou-se que o custo ficaria reduzido de 40% e no segundo de 25%. Esse critério não foi utilizado no caso de caldeiras pois a exigência de controle de material particulado nesta fonte é restrita aos casos de indústrias mal localizadas.

Custo de operação

O custo de operação (CO) do dessulfurizador pode ser subdividido em:

- custo da energia elétrica (CEE)
- custo do reagente (CR)
- custo da mão-de-obra de operação (CMO)
- custo da água e da disposição de resíduos (CAE)

Custo da energia elétrica

A energia elétrica industrial é cobrada em função da demanda e do consumo e é constituída de três parcelas (demanda, consumo e imposto compulsório) sendo que o seu valor anual pode ser expresso por:

$$CEE = [PI \times PKWM \times 12 + PI \times PKWH \times NHOA] \times \frac{1}{13254,67}$$

Sendo:

CEE = custo da energia elétrica anual (ORTN)

PI = potência total instalada no sistema (KW)

PKWM = preço do KW por mês (Cr\$)

PKWH = preço do KW-hora (Cr\$)

NHOA = número de horas de operação do sistema por ano

13254,67 = valor da ORTN de julho de 84

A potência total instalada foi determinada estatisticamente com base nos sistemas já instalados e em informações constantes dos planos de controle apresentados. Foi desenvolvido um modelo matemático expressando a variação da potência com o consumo de óleo.

A relação matemática obtida foi:

$$PI = 2,4 (OCH)^{0,41}$$

Sendo:

PI = potência instalada (KW)

OCH = consumo máximo de óleo (Kg/h)

Esta fórmula foi modificada no caso de fornos e estufas utilizando-se o expoente 0,47 para prevenir contra maior perda de carga no sistema de exaustão.

Foi utilizada uma redução de 25% no custo da energia elétrica nos casos em que existe também um equipamento de controle de material particulado no sistema (secadores de material cerâmico e de fertilizantes e fornos de vidro).

O preço do KW relativo à demanda e consumo foram obtidos junto à Eletropaulo e valem:

$$PKWM = \text{Cr\$ } 7.798,00 \text{ (07/84)}$$

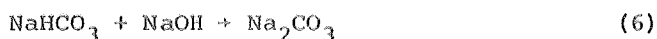
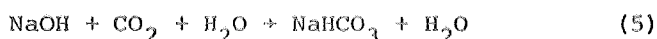
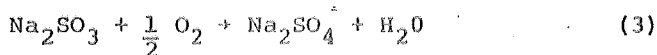
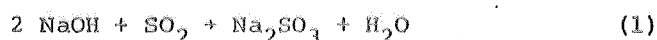
$$PKWH = \text{Cr\$ } 28,05 \text{ (07/84)}$$

O imposto compulsório não foi considerado no presente estudo por se tratar de valor retornável à empresa após o período estabelecido por lei.

Custo do reagente

O reagente considerado foi a soda cáustica (NaOH) líquida em concentração de 50% em peso, conforme tem sido frequentemente utilizado na prática.

Nos sistemas de dessulfurização com soda cáustica ocorrem principalmente as seguintes reações:



No presente estudo assumimos a condição de menor consumo de soda, ou seja a formação predominante de bissulfito de sódio (95%), que pode ser obtido com adequado controle de pH.

Assumimos também:

- 5% de enxofre no combustível

- formação de 100 Kg SO₂/t de óleo combustível queimado

- 85% de redução de dióxido de enxofre no lavador

Com isso obtêm-se um consumo de soda de 56 Kg/t de óleo. Assim o custo do reagente por ano será:

$$CR = 56 \times OCM \times 12 \times PR$$

Sendo:

CR = custo anual de reagente (ORTN)

OCM = consumo de óleo mensal (t)

PR = preço do quilograma do reagente (Cr\$)

Foi utilizado o valor de Cr\$ 450,00/Kg (base seca) para a soda cáustica em função dos valores verificados no mercado. O mês de referência para esse valor é Julho/84.

Custo da mão-de-obra de operação

O levantamento realizado junto às empresas que já instalaram sistemas de dessulfuriza -

ção mostrou que não houve contratação de pessoal específico para a operação do sistema assim como não houve deslocamento de pessoal para essa função. Em geral o próprio operador de caldeira ("foguista") opera o sistema de dessulfurização. Dessa forma alocou-se somente o tempo necessário para o registro de dados de operação do sistema, os quais são de grande importância para a consecução do objetivo final do sistema ou seja controle de poluição do ar. O tempo alocado foi de 1 hora por turno de 8 horas. Assim o custo da mão-de-obra de operação será:

$$CMO = \frac{1}{8} \times NHOA \times PHH \times \frac{1}{13254,67}$$

Sendo:

CMO = custo anual da mão-de-obra de operação

NHOA = número de horas de operação do sistema por ano

PHH = preço da hora/homem (Cr\$)

O preço da hora/homem foi considerado de Cr\$ 6.000,00 em Julho de 84 incluindo encargos (salário base de Cr\$ 600.000,00 por mês para o foguista conforme informação obtida junto à indústria).

Custo da água e da disposição de efluentes

O volume de água consumida pode ser dividido em duas parcelas. Uma é a água que, ao entrar em contato com os gases quentes, vaporiza e passa para os gases como umidade. A outra é aquela descartada como efluente líquido.

O volume de água consumida foi obtido com medições em campo. Foram realizadas medições em duas indústrias. Utilizou-se o menor valor obtido pois verificou-se que esse volume era suficiente para as necessidades do sistema. O volume de água medido (VA) foi correlacionado com o consumo de combustível obtendo-se:

$$VA = 3,2 \text{ m}^3/\text{t de óleo}$$

Para o cálculo do custo da água consumida e da disposição de efluentes utilizou-se a seguinte expressão:

$$CAE = 3,2 \times OCM \times 12 \times (PA + PE) \times \frac{1}{13254,67}$$

Sendo:

CAE = custo anual referente a água e disposição de efluentes (ORTN)

OCM = consumo mensal de óleo (t)

PA = preço da água (Cr\$/m³)

PE = preço da disposição de efluentes (Cr\$/m³)

A água industrial consumida foi considerada ser proveniente de poços artesianos ou aduzida de corpos d'água e tratada antes da utilização, soluções essas usuais na região. O seu preço (Cr\$ 58,00/m³ em 07/84) foi obtido de informações de duas indústrias, tendo sido utilizado o maior valor. O preço cobrado pela disposição dos efluentes foi obtido junto à SABESP, sendo igual a Cr\$ 851,00/m³, em Julho de 84, não se considerando neste caso o acréscimo devido à carga poluidora.

Não foi considerado o custo referente ao tratamento de efluentes pois esse tratamento deve ser feito através da recuperação da soda, reduzindo-se os gastos com reagente, ou através da utilização do efluente em outros processos (fábricas de papel e celulose por exemplo) prevendo-se uma redução no custo total de operação na forma calculada acima.

O volume de resíduos sólidos gerados por esse tipo de sistema de dessulfurização é pouco significativo, tendo por isso sido desprezado o seu custo.

Custo anual de operação

O custo anual de operação do sistema (COA) será a somatória dos custos acima descritos ou seja:

$$COA = CEE + CR + CMO + CAE$$

Custo de manutenção

O custo de manutenção foi considerado da forma usual ou seja, uma porcentagem em relação ao custo total do sistema, em face à não disponibilidade de dados práticos, em virtude do pouco tempo de uso desses sistemas.

Considerando o fato da grande importância que deve ser dada à manutenção desses sistemas para que os mesmos funcionem adequadamente adotou-se um fator (7,5%), maior que o usual (de 4 a 5%). Assim o custo de manutenção anual em ORTN será de:

$$CMA = 0,075 CS$$

Sendo:

CMA = custo anual de manutenção (ORTN)

CS = custo total do sistema (ORTN)

A ANUALIZAÇÃO DO CUSTO DE CONTROLE DE SO₂

Como em termos do custo de produção das empresas trabalhou-se com este custo em termos anuais, o custo do sistema de controle também foi anualizado.

Para realização desta anualização foram analisados três métodos:

- o da depreciação
- o da formação de capital
- o da recuperação do capital,

adicionando-se em todos os métodos, o custo anual de operação e manutenção.

Após análise o método selecionado foi o da recuperação do capital adicionando-se ao cálculo da recuperação anual necessária do capital, as despesas de operação e manutenção.

A fórmula matemática para realização deste cálculo foi a seguinte:

$$CTSA = 0,90 \times C.S \times \left[\frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] + 0,10 \times C.S \times i + C.O.A + C.M.A$$

Onde:

CTSA = custo anual total do sistema de controle de SO₂

CS = capital investido para implantação do sistema de controle de SO₂

i = taxa de atratividade (6% a.a.)

n = vida útil do sistema (5 anos)

0,10 x CS = valor residual do capital investido para implantação do sistema de controle de SO₂

C.O.A = custo de operação anual

C.M.A = custo de manutenção anual

RESULTADOS

Considerações gerais

Os modelos de cálculo do custo de controle de dióxido de enxofre e de impacto no custo de produção foram aplicados às indústrias pesquisadas que apresentavam informações suficientes para este cálculo.

Esses cálculos foram realizados com a utilização de um micro-computador TK-85 de 16 K de memória RAM. Deve-se ressaltar que o programa desenvolvido para essa finalidade permitiu

uma agilidade muito grande na obtenção dos resultados assim como reduziu sobremaneira a possibilidade de erros.

Os valores de impacto no custo de produção obtidos na primeira rodada de cálculos permitiu verificar discrepâncias de valores de impacto dentro do mesmo subsetor. As empresas que apresentavam discrepâncias foram contactadas para a confirmação dos dados fornecidos. Isso permitiu corrigir informações relativas ao consumo de óleo combustível e ao custo de produção.

Em vários casos verificou-se que a discrepância de valores de impacto era devida a bases diferentes para o cálculo do custo de produção.

Algumas empresas, por exemplo, não incluíram a parcela referente a custos indiretos, outros forneceram o custo sem incluir a matéria-prima, e assim por diante. Essa checagem permitiu também a verificação de que em alguns casos os custos não incluíam a matéria-prima e embalagens porque a empresa executava somente industrialização para terceiros. Dessa forma houve necessidade de observar essas bases diferentes na apresentação dos resultados. Para os casos sem essa observação entende-se que o custo de produção refere-se ao custo total do produto, na porta da fábrica.

Outra correção feita com base nessa verificação foi a relativa ao consumo de combustível. Várias empresas forneceram o consumo de combustível na data base das informações sem considerar a redução de consumo de óleo pela adoção de outros insumos energéticos, como por exemplo energia elétrica e lenha. Para evitar distorções foram verificados todos os formulários respondidos para assegurar que fosse utilizado o consumo de óleo antes dessas alterações. Evidentemente, em função da recessão econômica, o consumo de óleo diminuiu, contudo esse consumo está associado também a uma produção menor.

Participação de cada componente do custo no custo total do sistema

O modelo de cálculo de custo desenvolvido neste estudo permite conhecer a participação de cada componente do custo no custo total.

Os componentes de custo analisados são:

- custo total de implantação do sistema (CS)
- custo total anual de implantação do sistema (CSA)
- custo anual da energia elétrica (CEE)
- custo anual do reagente (CR)
- custo anual da mão de obra de operação do sistema (CMO)
- custo anual da água consumida e da disposição de efluentes (CAE)
- custo anual total de operação do sistema (COA)
- custo anual total de manutenção do sistema (CMA)
- custo anual total do sistema (CTSA)

O quadro 3 mostra esta participação em função do consumo de óleo e do número de horas que o sistema opera por ano, para efluentes de caldeiras.

Outro resultado importante é o valor referente ao custo de controle por tonelada de dióxido de enxofre removido. Verifica-se que este custo é de 86 ORTN/t SO₂ para o caso de menor utilização e de 38 para o caso de máxima utilização. Portanto, é mais barato o controle de SO₂ para sistemas com utilização mais intensiva.

QUADRO 3 - PARTICIPAÇÃO DE CADA COMPONENTE DO CUSTO NO CUSTO TOTAL DO SISTEMA DE CONTROLE DE DIÓXIDO DE ENXOFRE. EXEMPLO PARA CONSUMO MÁXIMO DE ÓLEO DE 500 Kg/h

| NHOA (HORAS) | OCM (TON/ MÊS) | CS (ORIN) | CSA | | CEE | | CR | | CMO | | CAE | | COA | | CMA | | CTSA (ORIN) | CUSTO TOTAL POR TON. SO ₂ REMOV (ORIN/TON. SO ₂) |
|-----------------|----------------------|--------------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|-----|------|------|------|------|----------------|---|
| | | | ORIN | % | ORIN | % | ORIN | % | ORIN | % | ORIN | % | ORIN | % | ORIN | % | | |
| 2112 | 44 | 7579 | 1665 | 46 | 155 | 4,3 | 1004 | 27,7 | 120 | 3,3 | 116 | 3,2 | 1394 | 38,4 | 568 | 15,7 | 3628 | 86 |
| | 70,4 | 7579 | 1665 | 38,7 | 155 | 3,6 | 1606 | 37,3 | 120 | 2,8 | 185 | 4,3 | 2066 | 48 | 568 | 13,2 | 4300 | 64 |
| 4224 | 88,0 | 7579 | 1665 | 33,3 | 292 | 5,8 | 2008 | 40,1 | 239 | 4,8 | 232 | 4,6 | 2771 | 55,4 | 568 | 11,4 | 5004 | 59 |
| | 140,8 | 7579 | 1665 | 26,2 | 292 | 4,6 | 3212 | 50,6 | 239 | 3,8 | 371 | 5,8 | 4114 | 64,8 | 568 | 8,9 | 6348 | 47 |
| 4992 | 104 | 7579 | 1665 | 30,3 | 342 | 6,2 | 2373 | 43,1 | 282 | 5,1 | 274 | 5,0 | 3271 | 59,4 | 568 | 10,3 | 5504 | 55 |
| | 166,4 | 7579 | 1665 | 23,5 | 342 | 4,8 | 3796 | 53,5 | 282 | 4,0 | 438 | 6,2 | 4859 | 68,5 | 568 | 8,0 | 7092 | 44 |
| 7448 | 156 | 7579 | 1665 | 23,3 | 504 | 7,1 | 3559 | 49,9 | 424 | 5,9 | 411 | 5,8 | 4898 | 68,7 | 568 | 8,0 | 7131 | 48 |
| | 249,6 | 7579 | 1665 | 17,5 | 504 | 5,3 | 5695 | 60,0 | 424 | 4,5 | 657 | 6,9 | 7280 | 76,5 | 568 | 6,0 | 9513 | 40 |
| 8640 | 180 | 7579 | 1665 | 21,4 | 579 | 7,3 | 4107 | 52,1 | 489 | 6,2 | 474 | 6,0 | 5648 | 71,7 | 568 | 7,2 | 7882 | 46 |
| | 288 | 7579 | 1665 | 15,7 | 579 | 5,4 | 6571 | 61,8 | 489 | 4,6 | 758 | 7,1 | 8397 | 79,0 | 568 | 5,3 | 10630 | 38 |

Síglas utilizadas:

- NHOA = número de horas de operação do sistema por ano
- OCM = consumo de óleo por mês
- CS = custo de implantação do sistema
- CSA = custo anual de implantação do sistema
- CEE = custo anual de energia elétrica
- CR = custo anual do reagente
- CMO = custo anual da mão de obra de operação
- CAE = custo anual da água utilizada e da disposição de efluentes líquidos
- COA = custo anual total de operação do sistema
- CMA = custo anual de manutenção do sistema
- CTSA = custo anual total do sistema

O exemplo mostrado no quadro 3 apresenta várias alternativas para a utilização de um mesmo sistema de dessulfurização.

Uma alternativa de utilização é quanto ao aproveitamento de sua capacidade instalada. O sistema de dessulfurização do exemplo está dimensionado para capacidade nominal de 500 Kg/h de óleo consumido. No entanto a sua utilização real foi considerada para 50% (OCH=250 Kg/h) e 80% (OCH=400 Kg/h).

Nesses casos, para um mesmo número de horas de funcionamento do sistema permaneceram constantes os seguintes componentes de custo:

- o custo total de implantação do sistema (CS)
- o custo anual de implantação do sistema (CSA)
- o custo anual da mão-de-obra (CMO)
- o custo anual de manutenção (CMA)

Considerando-se o mesmo caso acima mas variando o número de horas de funcionamento do sistema, verifica-se que três componentes permanecem constantes, quais sejam:

- o custo total de implantação (CS)
- o custo anual de implantação (CSA)
- o custo anual de manutenção (CMA)

Este exemplo mostra também que a influência do custo anual de implantação do sistema (CSA) no custo total (CTSA) diminui à medida que aumenta o tempo de funcionamento do siste-

ma, sendo que a participação do custo do reagente tem efeito inverso. Isto mostra a importância da adequada utilização do sistema em termos econômicos.

Impacto no custo de produção

Um dos objetivos principais do presente estudo é o da determinação do impacto do custo de controle de SO₂ no custo de produção das empresas que necessitam tomar medidas de controle para esse poluente. Basicamente procurou-se responder à pergunta: Quanto o controle de poluição do ar por dióxido de enxofre onera o custo de produção?

Com a aplicação do modelo de cálculo desenvolvido neste estudo foram obtidos os valores de impacto apresentados no quadro 4, distribuídos por setores e subsetores industriais.

QUADRO 4 - IMPACTO DO CUSTO DE CONTROLE DE SO₂ NO CUSTO DE PRODUÇÃO E CUSTO DE CONTROLE POR TONELADA DE SO₂ REMOVIDO, POR SUBSETOR E SETOR INDUSTRIAL

| SETOR | SUBSETOR | IMPACTO MÉDIO | | CUSTO MÉDIO | |
|-------------------------------------|--|---------------|----------|-------------|----------|
| | | NO SUBSETOR | NO SETOR | NO SUBSETOR | NO SETOR |
| Produtos de minerais não metálicos | Produção de vidro e artefatos de vidro | 1,50 | 2,22 | 36,0 | 46,5 |
| | Produção de cerâmica | 2,07 | | 50,1 | |
| | Produção de cerâmica refratária | 2,82 | | 48,9 | |
| | Outros | 2,63 | | 47,5 | |
| Indústria Metalúrgica | Siderurgia | 0,96 | 1,03 | 36,0 | 57,9 |
| | Laminados | 1,49 | | 54,3 | |
| | Molas | 1,26 | | 64,1 | |
| | Forjados | 1,15 | | 54,9 | |
| | Metais não ferrosos | 0,35 | | 65,6 | |
| | Outros | 0,27 | | 71,8 | |
| Material elétrico e de comunicações | Eletrodomésticos | 0,10 | 0,10 | 73,9 | 73,9 |
| Material de transportes | Veículos, autopeças e material ferroviário | 0,65 | 0,65 | 64,5 | 64,5 |
| Papel e papelão | Celulose, papel e papelão | 1,19 | 1,04 | 37,0 | 40,5 |
| | Embalagens e caixas | 0,56 | | 51,8 | |
| Borracha | Artefatos de borracha | 1,01 | 0,61 | 59,1 | 46,3 |
| | Pneumáticos | 0,22 | | 33,6 | |
| Indústrias Químicas | Fertilizantes | 0,38 | 1,01 | 68 | 49,4 |
| | Produção de resinas | 0,55 | | 52,8 | |
| | Tintas e vernizes | 0,18 | | 60,5 | |
| | Pigmentos | 6,42 | | 60,8 | |
| | Fibras sintéticas | 0,39 | | 41,2 | |
| | Óleos lubrificantes | 0,75 | | 54,1 | |
| | Produtos químicos em geral | 0,79 | | 38,0 | |

QUADRO 4 (continuação)

| SETOR | SUBSETOR | IMPACTO MÉDIO | | CUSTO MÉDIO | |
|---------------------------------------|---------------------------|---------------|----------|-------------|----------|
| | | NO SUBSETOR | NO SETOR | NO SUBSETOR | NO SETOR |
| Produtos farmacêuticos e veterinários | Todos | 0,70 | 0,70 | 48,1 | 48,1 |
| Perfumaria, sabões e velas | Sabões e detergentes | 0,65 | 0,65 | 37,9 | 37,9 |
| Produtos de matéria plástica | Todos | 0,59 | 0,59 | 40,2 | 40,2 |
| Indústria têxtil | Fiação e tecelagem | 1,04 | 2,05 | 53,8 | 54,2 |
| | Tinturaria e estamparia | 3,57 | | 54,8 | |
| Produtos alimentares | Óleos comestíveis | 1,03 | 1,11 | 40,1 | 49,7 |
| | Farinhas e rações | 2,52 | | 80,4 | |
| | Laticínios | - | | - | |
| | Café solúvel | 1,33 | | 37,6 | |
| | Carne e derivados | 0,19 | | 39,1 | |
| | Óleos e gorduras vegetais | - | | - | |
| Bebidas | Cervejas e refrigerantes | 0,73 | 0,73 | 36,8 | 36,8 |

Os valores do impacto variaram de um mínimo de 0,02% a um máximo de 10,41%, com média aritmética geral de 1,3%. É importante notar que os valores mais elevados tem a influência da base do custo de produção. Assim, o maior valor de impacto (10,41%) está associado a custo de produção parcial.

As médias mais elevadas por subsetores são relativas à produção de cerâmica refratária (2,82%), tinturaria e estamparia de tecidos (2,61%) e produção de farinhas e rações (2,50%). Deve-se observar que a variação de valores do impacto foi muito grande no subsetor de produção de farinha e rações. No entanto, mesmo com contatos posteriores não foi possível determinar a razão da discrepância.

Um fato muito importante obtido nesse estudo é a constatação de que uma indústria de produção de detergentes obteve resultado positivo com a exigência de controle de dióxido de enxofre. A medida de controle tomada por essa indústria foi de realizar uma alcalinização adicional (maior adição de soda cáustica) da matéria-prima antes de realizar a secagem do detergente. Com isso, o dióxido de enxofre foi incorporado ao produto, a níveis que não afetam a qualidade do mesmo, conforme informações da Empresa em questão.

Custo de controle por tonelada de SO₂ removido

O custo de controle por tonelada de SO₂ removido foi determinado a nível de subsetor e setor industrial. Esse custo é também apresentado no quadro 4. O menor valor foi da ordem de 30 ORTN/ton SO₂ e está relacionado a alto consumo de óleo (4457 t/mês).

Já o valor mais alto, da ordem de 125 ORTN/ton SO₂, está relacionado com baixo consumo de óleo (33t/mês).

As médias por setor industrial variaram de um mínimo de 36,8 ORTN/ton SO₂ (CERVEJAS E REFRIGERANTES) a um máximo de 73,9 ORTN/ton SO₂ (ELETRODOMÉSTICOS). A média geral foi de 51 ORTN/ton SO₂.

Esses valores possibilitam calcular o custo de controle na Região Metropolitana de São Paulo. Se assumirmos a média de 51 ORTN/ton SO₂ e considerarmos que a redução necessária na Região para fontes estacionárias é de 444 ton/dia de SO₂ tem-se o seguinte gasto global na

Região:

$$\text{Gasto global} = 444 \frac{\text{ton SO}_2}{\text{dia}} \times \frac{365 \text{ dias}}{\text{ano}} \times \frac{51 \text{ ORTN}}{\text{ton SO}_2}$$

$$\text{Gasto global} = 8.265.060 \text{ ORTN/ANO}$$

Ou seja, um gasto global anual de aproximadamente 63 milhões de dólares.

Trata-se de uma importância expressiva que merece um estudo aprofundado quanto à regeneração do reagente, que tem peso significativo no custo total. Evidentemente essa quantia não será aplicada na Região, na forma de lavadores, uma vez que essa solução representa 14% das soluções que vem sendo utilizadas para o controle de dióxido de enxofre na Grande São Paulo. No entanto os valores encontrados mostram da importância da análise técnica e econômico-financeira das alternativas existentes para se chegar à decisão final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU DE P. E STEPHAN, C. *Análise de Investimentos*, Rio de Janeiro, Ed. Campus Ltda 1982
- JAHNIG, C.E. E SHAW, H. *A Comparative Assessment of Flue Gas Treatment Processes. Part I - Status and Design Basis*, Journal of the Air Pollution Control Association 31 (4); 421 (1981)
- JAHNIG, C.E. E SHAW, H. *A Comparative Assessment of Flue Gas Treatment Processes. Part II - Environmental and Cost Comparison*, Journal of the Air Pollution Control Association 31 (5); 596 (1981)
- JICA - HAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. *Air Pollution Control Technology* 1981
- LASEKE, B.A. E DEVITT, T.W. *Status of Flue Gas Desulphurization*, Chemical Engineering Progress, Fevereiro; 37 (1979)
- MISAHN, E. J. *Elementos de Análise de Custos - Benefícios*, Zahar Editores, 1975
- NEVES, DAS C. *Análise de Investimentos - Projetos Industriais e Engenharia Econômica*, Rio de Janeiro, Zahar Editores, 1982
- PAOLI, E. *Manual de Metodologia Científica*
- RIDKER, R. *Economic Costs of Air Pollution*, Praeger Editors
- SCHARER, B. E HAUG, N. *On the Economics of Flue Gas Desulphurization - Measures, Costs and Effectiveness*, International OECD Symposium on the Economic Aspect of Coal Pollution Abatement Technologies, Petten; Maio (1985)

| |
|----------------------|
| Date Aquis.: |
| Indic |
| Operación: |
| Precio: Cr\$ |
| Date Tomba: 25/09/95 |



CETESB

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Av. Professor Frederico Hermann Jr., 345 - São Paulo - SP. - CEP 05459
Telefone: (011) 210-1100 (Telex (011) 222-46-CTS - BR