

LUIZ HENRIQUE E. TELLES

**IMPACTOS DA CONVERSÃO DE INDÚSTRIAS AO GÁS NATURAL
NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

**Dissertação apresentada ao programa
Interunidades de Pós Graduação em Energia,
junto ao IEE - Instituto de Eletrotécnica e Energia
da Universidade de São Paulo para a obtenção do
título de Mestre em Energia**

DEDALUS - Acervo - IEE



30400001638

São Paulo
1997



LUIZ HENRIQUE E. TELLES

**IMPACTOS DA CONVERSÃO DE INDUSTRIAS AO GÁS NATURAL
NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

**Dissertação apresentada ao programa
Interunidades de Pós Graduação em Energia,
junto ao IEE - Instituto de Eletrotécnica e Energia
da Universidade de São Paulo para a obtenção do
título de Mestre em Energia**

**Área de Concentração:
IEE-Instituto de Eletrotécnica e Energia**

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Moreira

**São Paulo
1997**

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Dr. José Roberto Moreira, pelas esclarecedoras diretrizes e permanente apoio.

Aos Professores e Colegas do curso de Pós-Graduação em Energia pelo constante incentivo à apresentação deste trabalho.

À COMGÁS, que me propiciou a oportunidade de conhecer um pouco da realidade do gás e de participar deste estudo.

SUMÁRIO

Lista de Tabelas
Resumo
"Abstract"

1	INTRODUÇÃO.	1
2	GÁS NATURAL NA RMSP.	3
	2.1 Sistema atual da distribuição.	4
	2.2 Expansão da demanda de gás natural.	6
3	QUALIDADE DO AR NA RMSP.	9
	3.1 Características gerais da região.	9
	3.2 Poluição Atmosférica.	10
	3.3 Emissões atmosféricas na RMSP : controle e redução.	12
	3.3.1 Material Particulado.	14
	3.3.2 Dióxido de Enxofre.	16
	3.3.3 Óxidos de nitrogênio.	17
	3.3.4 Monóxido de Carbono e Ozônio.	18
4	EMISSÕES APÓS A CONVERSÃO DAS INDÚSTRIAS AO GÁS NATURAL.	19
	4.1 Avaliação das Emissões.	19
	4.2 Análise dos resultados obtidos e comentários gerais.	26
5	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APÓS A CONVERSÃO AO GÁS NATURAL.	30
	5.1 Geral.	30
	5.2 Metodologia utilizada para a seleção dos segmentos industriais	31

5.2.1 Papel e Celulose.	33
5.2.2 Alimentos e Congêneres.	35
5.2.3 Vidro.	38
5.2.4 Cerâmica.	39
5.3 Análise dos dados obtidos e comentários gerais.	40
6 CONCLUSÕES.	46
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	49
ANEXO.	52
ANEXO - 1- Questionários enviados às empresas	

Lista de Tabelas

Tabela - 1 - Consumo de gás natural estimado para o setor industrial da RMSP, histórico e futuro, considerado economicamente viável e os combustíveis substituíveis, em m ³ /dia de gás natural equivalente.	8
Tabela - 2 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (CONAMA)	11
Tabela - 3 - Critérios para episódios agudos de poluição do ar (CONAMA).	12
Tabela - 4 - Estimativa de emissão das fontes de poluição do ar na RMSP em 1995.	13
Tabela - 5 - Contribuição relativa das fontes de poluição do ar na RMSP em 1995.	13
Tabela - 6 - Emissões industriais na RMSP em 1990, em 1995 (MP e SO _x) e estimativa para os anos de 1995 (NO _x , CO e HC), 2000 e 2005, sem o aumento de consumo de gás natural.	21
Tabela - 7 - Balanço das emissões considerando o consumo estimado de gás natural na RMSP - Ano de 1990.	22
Tabela - 8 - Balanço das emissões considerando o consumo estimado de gás natural na RMSP - Ano de 1995.	23
Tabela - 9 - Balanço das emissões considerando o consumo estimado de gás natural na RMSP - Ano de 2.000.	24
Tabela -10- Balanço das emissões considerando o consumo estimado de gás natural na RMSP - Ano de 2.005.	25
Tabela -11- Indústrias consultadas e respostas obtidas.	33
Tabela -12- Avaliação da eficiência energética - Consumo de Energia / Produção.	43
Tabela -13- Avaliação do custo da conversão ao gás natural	43
Tabela -14- Custo da energia / Custo final do produto.	44
Tabela -15- Resumo das questões gerais às empresas.	44
Tabela -16- Questões específicas por setor industrial.	45

RESUMO

A importação de gás natural da Bolívia possibilitará considerável aumento de consumo deste combustível na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Estudo de mercado recente concluiu pela viabilidade econômica de uma demanda industrial na região acima de 6 milhões de m³/dia no ano 2000, quase o dobro do consumo atual.

Neste trabalho procuramos avaliar, do ponto de vista da demanda, o impacto sobre o meio ambiente resultante desta mudança de combustível e, também, uma investigação sobre eventual mudança da eficiência energética do setor industrial convertido ao gás natural.

Grande parte deste gás natural será consumido na substituição de óleo combustível (50%), na ampliação de sua utilização atual (40%) e no deslocamento da eletricidade (7,3%) e da biomassa (2,7%).

Com os dados disponíveis sobre as emissões na RMSP, considerando os deslocamentos dos outros combustíveis e o aumento de consumo de gás natural, adotando-se os coeficientes de emissão reconhecidos, efetuamos um balanço das emissões resultantes desta mudança. Para a avaliação da eficiência energética fazemos uma investigação direta das mudanças de consumo junto às indústrias já convertidas ao gás natural.

O balanço realizado indica uma grande redução das emissões industriais dos óxidos de enxofre (94%) e uma redução apreciável da geração de gás carbônico nas indústrias convertidas ao gás natural (13,4%). Apresenta uma modesta redução de material particulado (7,6%) e de monóxido de carbono (4%) e uma considerável redução na geração de óxidos de nitrogênio (13,7%).

A nossa investigação indica a possibilidade de redução de consumo energético nos setores pesquisados e nítidos ganhos na operação e manutenção das instalações industriais convertidas ao gás natural.

ABSTRACT

With the Brazilian importation of natural gas from Bolívia, it will be feasible a considerable increase in the consumption of this fuel in the Great São Paulo Area.

Recent evaluations concluded by the feasibility of the industrial demand of natural gas in this area, higger than 6 million m³/day on year 2000, more than two times the current consumption.

In this work we carried out an evaluation, from the demand point of view, of the environmental impact due to fuel substitution and natural gas market increase.

Also the investigation related to possible changes in energy efficiency of industrial sectors converted to natural gas users is developed here.

The largest share of this natural gas will be utilised in the substitution of fuel oil (50%), increase on natural gas utilisation (40%), as well as replacement of eletricity (7,3%) and biomass (2,7%).

Based in the available air quality data for this urban area, in the replacement of other fuels, and the acceptable emissions coefficients, we present a balance of the final situation. For the evaluation of energy efficiency, a direct investigation about the change in consumption at industries already converted to natural gas was performed.

The study indicates a scenario where considerable reduction on industrial emissions of sulfur oxides (94%), a significant reduction of carbonic dioxide (13,4%), a modest reduction on particulates (7,6%) and carbon monoxide (4%), and a considerable reduction too on nitrogen oxides (13,7%).

Our investigation indicated the possibility of reduction on the energy consumption , of the industrial sectors investigated and clear earnings on operation and maintenance of industrial instalations converted to natural gas.

1. INTRODUÇÃO

A expansão do consumo de gás natural no Brasil é, cada dia mais, uma realidade que se delinea, seja pela importação de gás natural da Bolívia, seja pelo aumento da produção nacional ou pela possibilidade de importação também da Argentina e do Peru ou de gás natural liquefeito, já há algum tempo, cogitado como alternativa de suprimento.

Tudo indica que nos próximos anos haverá um aumento na participação do gás natural em nossa matriz energética, que hoje é pouco expressiva representando apenas 2% do consumo final (MME, 1995).

Estudos de mercado realizados recentemente indicam que grande parte desta expansão de consumo se dará no Estado de São Paulo, principalmente no setor industrial da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e cuja demanda deverá corresponder próximo a 50% do previsto para todo o Estado (Technoplan/SPG, 1993).

Neste trabalho procuramos, do ponto de vista da demanda, analisar o impacto ambiental devido ao aumento considerável de consumo industrial de gás natural. Este energético fóssil, de combustão simples, apresenta conteúdo de enxofre desprezível e baixo índice de emissão de material particulado, além de menor emissão de gás carbônico (CO₂) por unidade de energia consumida em relação aos óleos combustíveis; por outro lado, é um considerável emissor de óxidos de nitrogênio (NO_x) (EPA, 1995).

Tratando-se de um energético de uso industrial, outro aspecto relevante e bastante relacionado com o aspecto ambiental consiste em avaliar o eventual ganho de eficiência energética em setores industriais que utilizam este combustível.

Este aspecto se relaciona com a questão anterior, pois como já foi dito, "a energia menos poluente é aquela que ainda não foi consumida" (ATG, 1992).

Neste trabalho toma-se como base um estudo do mercado para o gás natural na região,

realizado em 1993; que estabeleceu as estimativas histórica de consumo deste combustível, que teriam sido possíveis e economicamente viáveis para os anos de 1989 a 1992, caso houvesse sua disponibilidade na ocasião, e estabeleceu cenários futuros na ocasião para os anos de 1995, 2000 e 2005, indicando também os combustíveis que seriam substituídos pelo gás natural. (Technoplan/SPG,1993)

Considerando-se as estimativas de demanda e os combustíveis que seriam substituídos pelo gás natural, e avaliando-se as emissões atmosféricas resultantes, antes e após a substituição, neste trabalho é efetuada uma análise do impacto ambiental resultante, tendo em conta a conhecida situação das emissões na RMSP.

Para avaliação da eficiência energética, foram escolhidos alguns setores industriais (alimentos, papel e celulose, vidros e cerâmica), importantes consumidores de gás natural, que responderam, em conjunto, em 1995, por 44% do consumo de gás natural na RMSP (COMGÁS,1995) porcentagem que deverá ser mantida em futuro próximo (Technoplan/SPG,1993).

Os dados sobre eficiência foram obtidos em pesquisa direta junto às empresas já consumidoras de gás natural, analisando o ocorrido antes e após a conversão das suas unidades produtivas para utilização de gás natural, relacionando-se o consumo de energia com a produção industrial correspondente e diversas outras características desta conversão.

2 GÁS NATURAL NA RMSP

O gás natural é distribuído na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) pela COMGÁS - Companhia de Gás de São Paulo, empresa cujas origens se reportam à constituição da "The São Paulo Gás Company", que iniciou em 1873 a distribuição de gás de carvão para 700 lampiões públicos e a 174 consumidores particulares, com uma produção diária de cerca de 1500 m³ de gás de carvão.

Em 1972, ao inaugurar a Usina Massinet Sorcinelli, a COMGÁS iniciou a distribuição de gás manufaturado de nafta, gás de médio poder calorífico obtido do craqueamento de nafta de petróleo. Nesta ocasião foi construído um sistema de distribuição em alta pressão (AMAP- Anel Metropolitano de Alta Pressão), constituído de tubulações de grande diâmetro, em aço carbono, que atuariam também como reservatório segmentado, estendendo-se, além de São Paulo, para os municípios paulistas do ABCD (Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano e Diadema).

O gás natural começou a ser distribuído comercialmente na RMSP em abril de 1989 atingindo naquela ocasião uma média diária próxima de 250.000 m³/dia, distribuindo na mesma época 1.000.000 m³/dia de gás de nafta e 71.000 m³/dia de gás de refinaria (12).

O consumo de gás natural tem evoluído ano a ano, tendo sido comercializado, em média, numa base anual, 680.000 m³/dia em 1990, 1.080.000 m³/dia em 1992, 1.300.000 m³/dia em 1994; foi atingido, em abril de 1995, um consumo próximo a 2.300.000 m³/dia somente na RMSP, sendo que 90,3% deste gás foi distribuído para a indústria, 4,4% para residências, 3,6% para o comércio e 1,7% para o consumo automotivo (COMGÁS, 1995).

O gás natural no início foi utilizado, em grande parte, na substituição do gás de nafta, que em junho de 1995 era distribuído, de forma residual, em média de 107.000 m³/dia,

correspondendo a 5,4% do total de gás equivalente comercializado naquele mês.

A distribuição de gás de refinaria, iniciada em 1987, foi interrompida em maio de 1992. Neste mês, na aplicação industrial, 24% do gás natural foi distribuído ao setor metalúrgico, 19% ao setor químico-petroquímico, 18% para a indústria do vidro, 8% ao setor de papel e gráfica, 11% ao de cerâmica, 7% ao de alimentação e bebidas, 5% ao setor têxtil, 3% ao de produtos de borracha e 5% a outros diversos (COMGÁS, 1995)

2.1 Sistema atual de distribuição

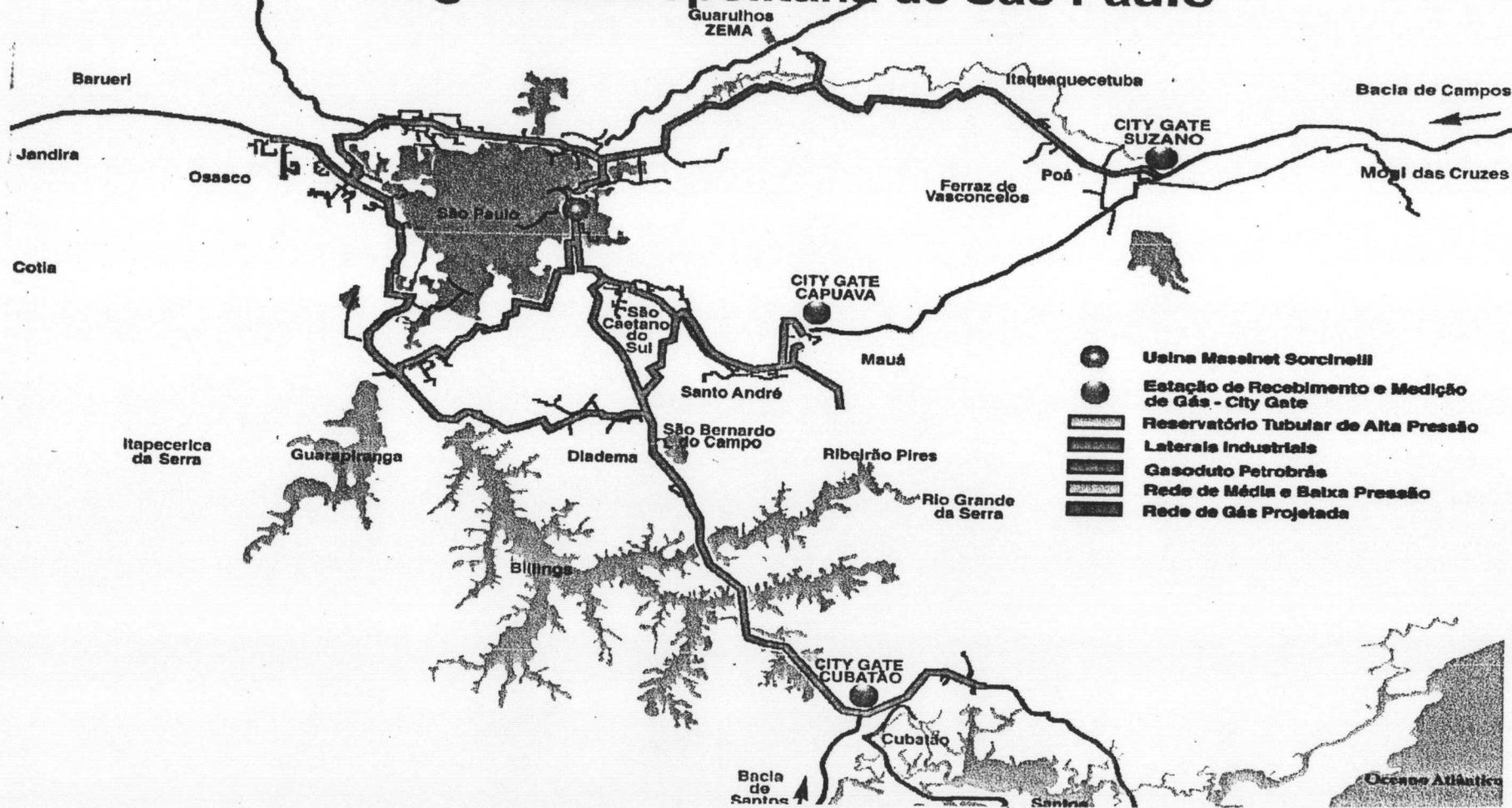
O sistema de distribuição de gás natural que supre a RMSP recebe este gás da Bacia de Campos, através do gasoduto da Petrobrás, GASPAL, entre Rio de Janeiro e São Paulo e, em quantidade bem menor (22% em média), da plataforma de Merluza, situada no litoral sul de São Paulo, através de outro gasoduto da Petrobrás, o GASAN (Ver o mapa do Sistema de distribuição na RMSP, p.5).

Este sistema é suprido, principalmente pelo GASPAL através de duas estações de medição e redução de pressão (a de Suzano, neste município, e a de Capuava, em Mauá) e, em parte, pelo GASAN, através da linha Cubatão - São Bernardo que recebe este gás da estação de medição e redução de Cubatão.

A partir da estação de Suzano, uma linha de suprimento acompanha a Rodovia dos Trabalhadores até atingir o anel de distribuição em alta pressão na altura da Marginal Tietê, a qual ladeia até a região de Osasco, onde se volta para o sul.

A seguir o sistema contorna os bairros de Pinheiros e Ibirapuera, atinge Diadema e outros municípios do ABCD, onde é suprido também pela estação de Capuava, e retorna ao anel de alta pressão no seu ponto inicial, na região leste de São Paulo.

FIG.1 Sistema de Distribuição de Gás Canalizado Região Metropolitana de São Paulo



- Usina Massinet Sorcinelli
- Estação de Recebimento e Medição de Gás - City Gate
- Reservatório Tubular de Alta Pressão
- Laterais Industriais
- Gasoduto Petrobrás
- Rede de Média e Baixa Pressão
- Rede de Gás Projetada

Esta rede de distribuição, em constante expansão, já se estende hoje para Mogi das Cruzes e Guarulhos devendo em suas próximas ampliações atingir os municípios de Guararema, Poá, Ferraz de Vasconcelos, Embú, Taboão da Serra e Barueri, abrangendo nesta altura dezesseis municípios dos trinta e nove que constituem a região.

Este sistema de distribuição de gás natural encontra-se hoje bastante próximo dos seus limites de operação, considerando-se a disponibilidade atual de suprimento de gás natural pela Petrobrás e a capacidade de atendimento da rede.

2.2 Expansão da demanda de gás natural

Recentemente ficou delineada a possibilidade de importação de gás natural da Bolívia através de um gasoduto entre a cidade de Rio Grande, na Bolívia, e Paulínia em São Paulo estendendo-se a seguir até Curitiba e Porto Alegre. Por este motivo foi realizado pela Sociedade Privada do Gás-SPG, sociedade civil que reúne setores da iniciativa privada, interessados na expansão da indústria do gás no país, um estudo de viabilidade deste gasoduto e estimativa de demanda economicamente viável de gás natural no Estado de São Paulo, abrangendo a RMSP e outras regiões industriais do Estado.

Este estudo, executado em 1992, pela empresa de consultoria Technoplan - Tecnologia e Planejamento Ltda. e outros (Technoplan/SPG, 1993), realizou, entre vários itens, uma análise abrangente do projeto do gasoduto, do mercado potencial para o gás natural e da demanda histórica e futura considerada como economicamente viável.

Foram analisadas 966 indústrias do Estado de São Paulo, localizadas próximas às redes existentes e ao trajeto previsto para o gasoduto, identificando os prováveis consumidores de gás natural. Neste trabalho foi feita uma análise retrospectiva, com regressão aos anos de 1989 até 1992 e uma projeção futura para os anos de 1995, 2000 e 2005.

Para análise e indicação dos consumidores economicamente viáveis, ou seja as indústrias que deveriam vir a consumir ou aumentar o consumo de gás natural, foram consideradas entre diversos itens, as condições de custo e a disponibilidade de outros combustíveis concorrentes, o custo de conversão dos equipamentos das indústrias ao novo combustível e os custos de sua distribuição. Foram considerados também os eventuais ganhos ambientais e tecnológicos decorrentes desta mudança e o desempenho do setor industrial a que pertenciam estas indústrias.

Para a RMSP, este estudo de mercado conclui haver viabilidade de expansão da demanda de gás natural em indústrias já consumidoras e de novas indústrias a serem interligadas ao sistema atual de distribuição ou às suas extensões próximas previstas.

Baseado nesta pesquisa, considerando os volumes totais do consumo dito economicamente viável e os combustíveis substituídos pelo gás natural, construímos a Tabela 1, onde indicamos as demandas finais estimadas.

Nesta tabela, na retrospectiva aos anos de 1989 a 1995, indicamos o consumo de gás natural, de nafta e de refinaria realmente ocorridos e os volumes diários adicionais que poderiam ter sido consumidos também com a substituição de outros combustíveis, em condições economicamente viáveis, como derivados de petróleo, eletricidade e biomassa.

Na projeção futura de 1995 a 2000, consideramos o aumento de consumo de gás natural previsto, que consiste no aumento da demanda dos consumidores já existentes na ocasião, de novos consumidores que já se iniciariam com gás natural e as substituições previstas dos outros combustíveis.

Esta estimativa de consumo de gás natural e de substituição de combustíveis é tomada como hipótese base em todo o presente trabalho. Os valores para o consumo de gás natural estimados para 1995 demonstraram erro abaixo de 5%.

TABELA 1 - CONSUMO DE GÁS NATURAL ESTIMADO PARA O SETOR INDUSTRIAL DA RMSP, HISTÓRICO E FUTURO, CONSIDERADO ECONOMICAMENTE VIÁVEL E OS COMBUSTÍVEIS SUBSTITUÍVEIS, EM M3/DIA DE GÁS NATURAL EQUIVALENTE.

ANO	1989	1990	1991	1992	1995	2000	2005
GÁS NATURAL	455037	683404	757265	1086233	1982033	2497413	2582888
GÁS DE NAFTA	72753	66537	103349	28725	106876	0	
GÁS DE REFINAR.	13	13	14	0			
SUBTOTAL	527803	749954	860628	1114958	2088929	2497413	2582888
COMBUSTÍVEIS SUBSTITUÍVEIS:							
DERIVADOS DE PETRÓLEO:							
ÓLEO COMBUSTÍVEL:							
1A	1019021	994267	972421	960433	1092789	1116850	1148585
2A	525288	511537	486294	449555	433032	389060	423771
3A	164615	173789	126294	91340	97053	98911	100965
1B	113283	145660	156240	124272	148288	181866	184934
2B	14672	15122	17028	16617	13621	15087	17925
3B	29844	23931	26647	22342	30139	30139	30139
6B	855976	629044	652418	527949	824469	824469	824469
C4	27827	24648	23021	27526	28750	29538	30231
ÓLEO DIESEL	47679	47945	34384	34074	55689	53592	56509
QUEROSENE	3042	2713	3084	3266	3007	3007	3007
GLP	30925	26887	29371	25526	40359	55491	56511
PROPANO	1052	831	831	869	1059	1059	1059
SUBTOTAL	2833224	2596374	2528033	2283758	2768255	2799069	2878105
ELETRICIDADE	368593	344227	370316	373437	397242	416444	441167
BIOMASSA :							
MADEIRA	242643	229778	217291	196799	145686	172493	201987
ETANOL	3404	3572	3237	2812	2910	3274	3819
SUBTOTAL	246047	233350	220528	199611	148596	175767	205806
TOTAL FINAL	3975667	3923905	3979505	3971764	5403022	5888693	6107966

FONTE : TECHNOPLAN / SPG ,1993 e COMGÁS, 1995 e atualização

3 QUALIDADE DO AR NA RMSP

3.1 Características gerais da região

A RMSP possui uma extensão de 8.054 km² com uma topografia dominada por colinas que variam de 650 a 1.200 m e uma extensa área urbana com 5.000 km², contornado por unidades topográficas, que giram em torno de 1.100 de altura como a Serra do Mar e de Paranapiacaba (CETESB,1996).

Uma certa complexidade topográfica, associada à proximidade do oceano e a uma intensa urbanização da área, afeta significativamente o padrão da circulação atmosférica e cria uma situação peculiar na região (CETESB,1996).

As temperaturas variam entre 8^o C no mês mais frio e 30^o C no mês mais quente, com precipitação pluviométrica anual em torno de 1500 mm, a maior parte de outubro a março (CETESB,1996).

As observações sistemáticas da região permitem estabelecer dois períodos característicos em relação a poluição atmosférica: um, que vai de setembro a abril, favorável à dispersão dos poluentes e outro, de maio a agosto, considerado crítico, devido à ocorrência de inversão térmica na baixa atmosfera, o que dificulta a dispersão das emissões agravando os problemas ambientais (CETESB,1996).

Esta região, hoje um grande aglomerado urbano e industrial que abrange 39 municípios, é habitada por cerca de 17 milhões de habitantes. Nesta região encontra-se uma frota de 4,9 milhões de veículos e 19% das indústrias brasileiras (45,5 mil) (EMPLASA,1994).

Estas características, em particular as últimas citadas, tornam crítico o problema da poluição atmosférica na região.

3.2 Poluição Atmosférica

A poluição atmosférica se caracteriza pela presença de substâncias na atmosfera que em determinadas concentrações, tornam o ar impróprio e nocivo à saúde, aos materiais, à fauna e flora, ao bem estar público e às atividades usuais de uma comunidade.

Os poluentes principais, identificados pela legislação internacional e brasileira, são: o material particulado (MP), as partículas inaláveis (PM-10 ou PI), os óxidos de enxofre (SO_2 , SO_3 ou SO_x), os óxidos de nitrogênio (NO , NO_2 e/ou NO_x), o monóxido de carbono (CO), os compostos orgânicos (HC) e outros, o metano (CH_4) e o ozônio (O_3). Estes poluentes são classificados de ação local ou regional; outro conjunto de emissões poluentes, nomeados de efeito global, são o dióxido de carbono (CO_2), o óxido nitroso N_2O , o CH_4 e outros, assim classificados por serem considerados como agentes responsáveis pela ocorrência do efeito estufa.

Estas emissões são produzidas por diversas fontes, estacionárias ou móveis, sendo as primeiras em geral oriundas de processos industriais de combustão que emitem MP, SO_x , CO , NO_x além de outros poluentes em menor escala.

As fontes móveis, veículos em geral, emitem MP, CO , SO_x , NO_x , HC, CO_2 , aldeídos e ácidos orgânicos. Outras emissões, ditas secundárias, são geradas por reações químicas na atmosfera, como o ozônio gerado pela reação de HC e NO_x em presença da luz solar, e os aerossóis e ácidos orgânicos formados na atmosfera. Ocorrem também emissões provindas de fontes naturais que podem gerar material particulado, SO_x , NO_x , e CH_4 .

Para implantação do controle da qualidade do ar foram fixados padrões que estabelecem os limites máximos de concentração e frequência da presença destas emissões, em níveis seguros. Os padrões nacionais de qualidade do ar são expressos hoje pela Resolução CONAMA n° 3, de 28/06/90, que estão apresentados na Tabela - 2, a seguir:

**TABELA - 2 - PADRÕES NACIONAIS DE QUALIDADE DO AR
(RESOLUÇÃO CONAMA N° 3, DE 28/6/90)**

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO ug/m ³	PADRÃO SECUNDÁRIO ug/m ³	MÉTODO DE MEDIÇÃO
Partículas Totais em Suspensão	24 horas	240	150	Amostrador de grandes volumes
	MGA (2)	80	60	
Dióxido de Enxofre	24 horas	365	100	Pararosanilina
	MAA (3)	80	40	
Monóxido de Carbono	1 hora (1)	40.000	40.000	Infravermelho não dispersivo
	8 horas	35 ppm 10.000 (9 ppm)	35 ppm 10.000 (9 ppm)	
Ozônio	1 hora (1)	160	160	Quimiluminescência
Fumaça	24 horas (1)	150	100	Refletância
	MAA(3)	60	40	
Partículas Inaláveis	24 horas (1)	150	150	Separação Inercial/Filtração
	MAA	50	50	
Dióxido de Nitrogênio	1 hora (1)	320	190	Quimiluminescência
	MAA (3)	100	100	

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano
(3) Média aritmética anual

(2) Média geométrica anual
Fonte: CETESB, 1996

Os padrões primários de qualidade do ar definem as concentrações de poluentes, considerados nos níveis máximos toleráveis, sendo adotados como objetivo a curto e médio prazo.

Os padrões secundários são níveis abaixo dos quais se prevê o mínimo de efeito adverso ao meio ambiente, considerado como meta a longo prazo. A mesma resolução estabelece também os critérios para se caracterizar os episódios críticos de poluição do meio ambiente, o que apresentamos na Tabela -3, a seguir :

**TABELA-3 -CRITÉRIOS PARA EPISÓDIOS AGUDOS DE POLUIÇÃO DO AR
(RESOLUÇÃO CONAMA Nº 3, DE 28/6/90)**

PARÂMETROS NÍVEIS	ATENÇÃO	ALERTA	EMERGÊNCIA
Dióxido de Enxofre (ug/m ³) - 24h	800	1600	2100
Partículas Totais em Suspensão(PTS) (ug/m ³)- 24h	375	625	875
SO ₂ X PTS (ug/m ³)(ug/m ³)-24h	65.000	261.000	393.000
Monóxido de Carbono (ppm) - 8h	15	30	40
Ozônio (ug/m ³) - 24h	400 *	800	1.000
Partículas Inaláveis (ug/m ³) - 24h	250	420	500
Fumaça (ug/m ³) - 24h	250	420	500
Dióxido de Nitrogênio (ug/m ³) -1h	1.130	2.260	3.000

* O nível de atenção é declarado pela CETESB com base na legislação estadual que é mais restritiva (200 ug/m³)
Fonte : CETESB,1996

3.3 Emissões atmosféricas na RMSP: controle e redução

Apresentamos a seguir o inventário das fontes de poluição do ar na RMSP, segundo a CETESB, em seu relatório anual de 1995 (CETESB,1996), nas Tabelas 4 e 5. De acordo com esta fonte, alguns dados foram obtidos adotando-se os fatores de emissão apresentados no "Compilation of Emission Factors" da EPA-Environmental Protection Agency / (Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) , ou obtidos através de ensaios das próprias fontes de emissão, como no caso de veículos leves. Na Tabela - 4 apresentamos a estimativa de emissão de todas as origens, das quais destacamos as geradas pelos processos industriais, obtidos junto à grande número de indústrias (de 730 a 883 amostras). Na Tabela 5 é mostrado a participação relativa de cada fonte de

poluição na geração das emissões na RMSP, com base na Tabela 4.

TABELA - 4 - ESTIMATIVA DA EMISSÃO DAS FONTES DE POLUIÇÃO DO AR NA RMSP EM 1995 - 1000 T/ANO

FONTE DE EMISSÃO	EMISSÃO (1.000 T/ANO)					
		CO	HC	NO _x	SO _x	MP
MÓVEIS:						
TUBO DE ESCAPAMENTO DE VEÍCULOS	GASOOL*	859,2	72,6	44,7	8,4	8,0
	ÁLCOOL	294,8	33,4	22,0	--	--
	DIESEL	503,1	82,0	367,4	76,9	22,9
	TAXI	44,8	4,0	2,5	0,1	0,4
	MOTOS E SIMILARES	30,0	6,6	0,2	0,3	0,1
CÁRTER E EVAPORATIVA	GASOOL	--	119,5	--	--	--
	ÁLCOOL	--	34,1	--	--	--
	MOTOS E SIMILARES		2,2	--	--	--
PNEUS	TODOS OS TIPOS	--	--	--	--	9,3
OPERAÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DE COMBUSTÍVEL	GASOOL*	--	13,4	--	--	--
	ÁLCOOL	--	3,3	--	--	--
OPERAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS (1990)		38,6 ¹ (750)	12,0 ¹ (800)	14,0 ¹ (740)	14,0 ² (400)	34,5 ² (305)
TOTAL		1770,5	383,1	450,8	99,7	75,2

* Gasool : Gasolina contendo 22% de álcool () Número de indústrias inventariadas
¹ Estimativa de 1990 ² Estimativa de 1995 Fonte : CETESB,1996

TABELA - 5 - CONTRIBUIÇÃO RELATIVA DAS FONTES DE POLUIÇÃO DO AR NA RMSP EM 1995

FONTE DE EMISSÃO	POLUENTES %					
		CO	HC	NO _x	SO _x	MP
TUBO DE ESCAPAMENTO	GASOOL*	48,5	18,9	9,9	8,4	10,6
	ÁLCOOL	16,6	8,7	4,9	--	--
	DIESEL(1)	28,4	21,4	81,5	77,1	30,4
	TAXI	2,6	0,6	0,6	0,1	0,5
	MOTOS E SIMILARES	1,7	1,7	0,1	0,3	0,2
CÁRTER E EVAPORATIVA	GASOOL*	--	31,2	--	--	--
	ÁLCOOL	--	8,9	--	--	--
	MOTOS E SIMILARES	--	0,6	--	--	--
PNEUS	TODOS OS TIPOS	--	--	--	--	12,4
OPERAÇÕES DE TRANSFERÊNCIA DE COMBUSTÍVEL	GASOOL*	--	3,5	--	--	--
	ÁLCOOL	--	0,9	--	--	--
OPERAÇÃO DE PROC. INDUSTRIAIS(1990)		2,2	3,1	3,1	14,1	45,9
TOTAL		100	100	100	100	100

* Gasool : Gasolina contendo 22% de álcool (1) Veículos pesados Fonte : CETESB,1996

A CETESB vem operando na RMSP uma rede manual, que mede os teores de SO_x e fumaça desde 1973, uma rede automática de monitoramento da qualidade do ar desde 1981 e uma, para partículas totais em suspensão, a partir de 1983. Esta rede automática é composta de 22 estações fixas de amostragem e dois laboratórios volantes. Os dados destas estações são enviados a uma estação central, onde são processados e os laboratórios deslocados em função das necessidades de amostragem.

Treze destas estações estão localizadas no município de São Paulo e as nove restantes nos municípios de São Caetano do Sul, Guarulhos, Santo Amaro, Diadema, Osasco, Capuava, São Bernardo do Campo, Taboão de Serra e Mauá, regiões industriais da RMSP. Quase todas elas medem o SO_2 e partículas inaláveis, e apenas quatro estações, localizadas em bairros do centro do município de São Paulo, medem as emissões de NO_x , CO , HC e O_3 (CETESB, 1996).

3.3.1 Material Particulado

Com base nos dados colhidos pelo monitoramento da qualidade do ar, são disponíveis os seguintes dados sobre a situação na RMSP. A Figura - 2 mostra a evolução das concentrações médias anuais, na área da RMSP.

No ano de 1994 de dez estações da CETESB, instaladas na RMSP, cinco indicaram concentrações acima do padrão nacional primário de qualidade do ar ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$), foram as estações de Osasco, São Caetano do Sul, São Bernardo do Campo, regiões industriais, e nos bairros centrais do município de São Paulo, Parque D. Pedro II e Ibirapuera.

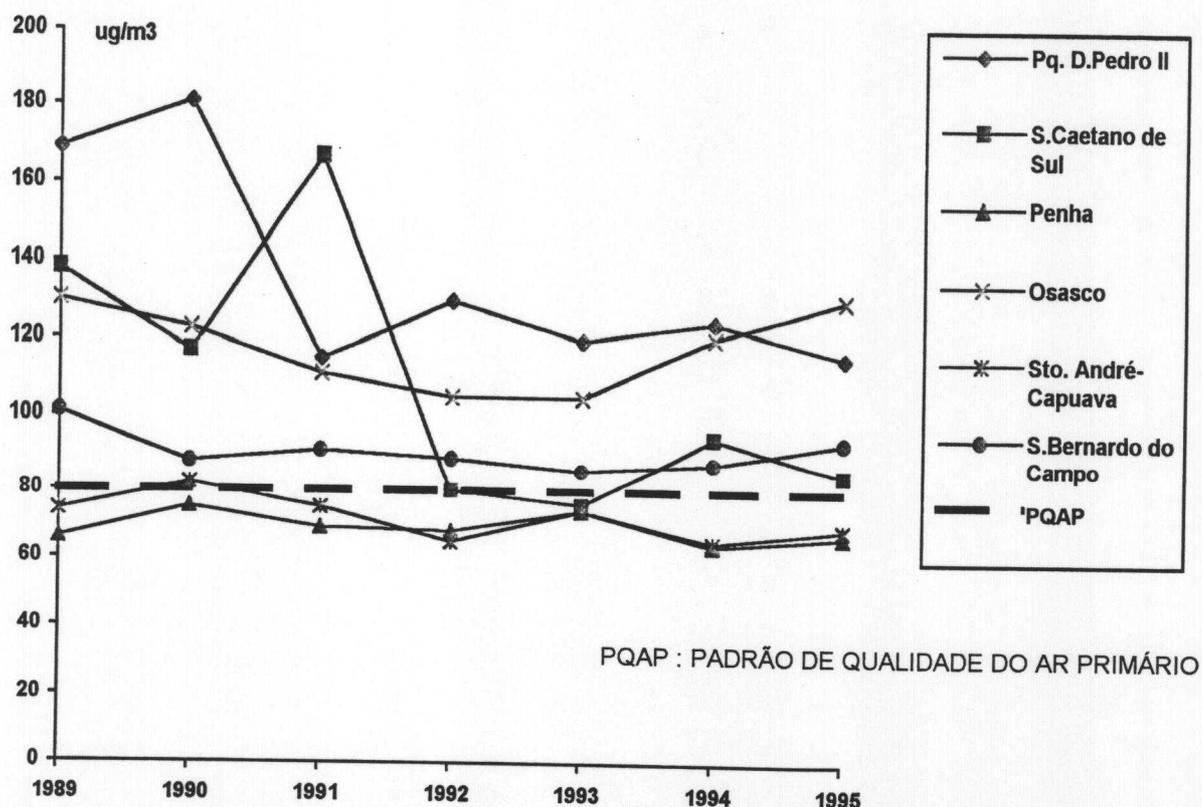


FIGURA-2 - PARTÍCULAS TOTAIS EM SUSPENSÃO- RMSP
(amostra de 24 horas a cada seis dias) - ug/m3

Fonte : CETESB, 1996 -Tabela H/K

Em relação ao padrão diário (240 ug/m³), em 1994, oito estações da RMSP, apresentaram concentração acima do padrão primário, em 2% a 11% do tempo de amostragem, o que ocorre nas estações citadas acima e nas de S. Amaro, Pinheiros e Penha.

Em dezembro de 1979, deu-se início ao programa de controle de particulados, com o objetivo de reduzir estas emissões ao nível primário de qualidade do ar. Para tanto, os 150 maiores emissores, responsáveis por aproximadamente 90% do MP de origem industrial emitido na região foram autuados pela CETESB, para dentro de cinco anos, adequarem-se aos padrões exigidos. Atualmente, ainda segundo a CETESB, apesar do atendimento por parte das indústrias a estes requisitos, persistem violações do padrão de qualidade para o material particulado em vários pontos da RMSP (2).

3.3.2 Dióxido de Enxofre

A Figura - 3 mostra as concentrações de dióxido de enxofre, na RMSP, que segundo a CETESB vem decrescendo desde 1981, acentuadamente até o ano de 1986 e lentamente a partir daí, situando-se na maioria das regiões abaixo de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a partir de 1990.(2)

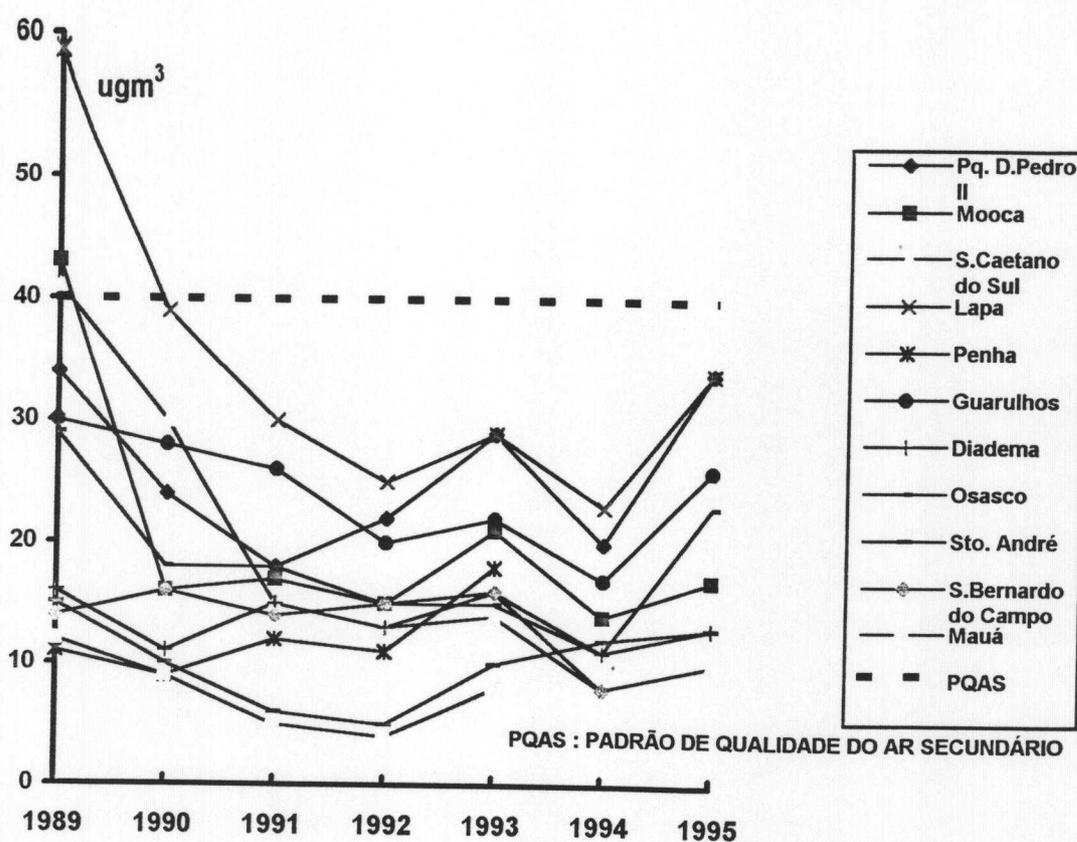


FIGURA - 3 - DIÓXIDO DE ENXOFRE - RMSP

Fonte : CETESB,1996

A poluição do ar pelo SO_2 , na região, foi identificada como devida principalmente à utilização pelas indústrias de óleos combustíveis com altos teores de enxofre, responsáveis por mais de 74% de todo SO_2 , emitido na região em 1982, início do programa de controle (CETESB,1996).

Nesta ocasião a CETESB estabeleceu como padrão de emissão permitido, o máximo de 20 kg de SO_2 por tonelada de óleo queimado para as indústrias a serem instaladas e de 40 kg de SO_2 por tonelada de óleo combustível para aquelas já instaladas. As maiores

fontes de emissão do poluente ocasião (363) foram autuadas pela CETESB e, em 1987, a maioria já se adequava aos padrões estabelecidos (CETESB,1996).

3.3.3 Óxidos de Nitrogênio

A Figura - 4 mostra a evolução das concentrações médias de dióxido de nitrogênio na RMSP, entre 1990 e 1994. Segundo a CETESB, nas quatro estações monitoradas o padrão horário de concentração foi ultrapassado em 3 delas, em 5 a 60% dos dias em 1993. Estas ocorrências se tornam ainda mais graves devido à reação deste poluente com os hidrocarbonetos na formação do ozônio, poluente crítico nesta região.

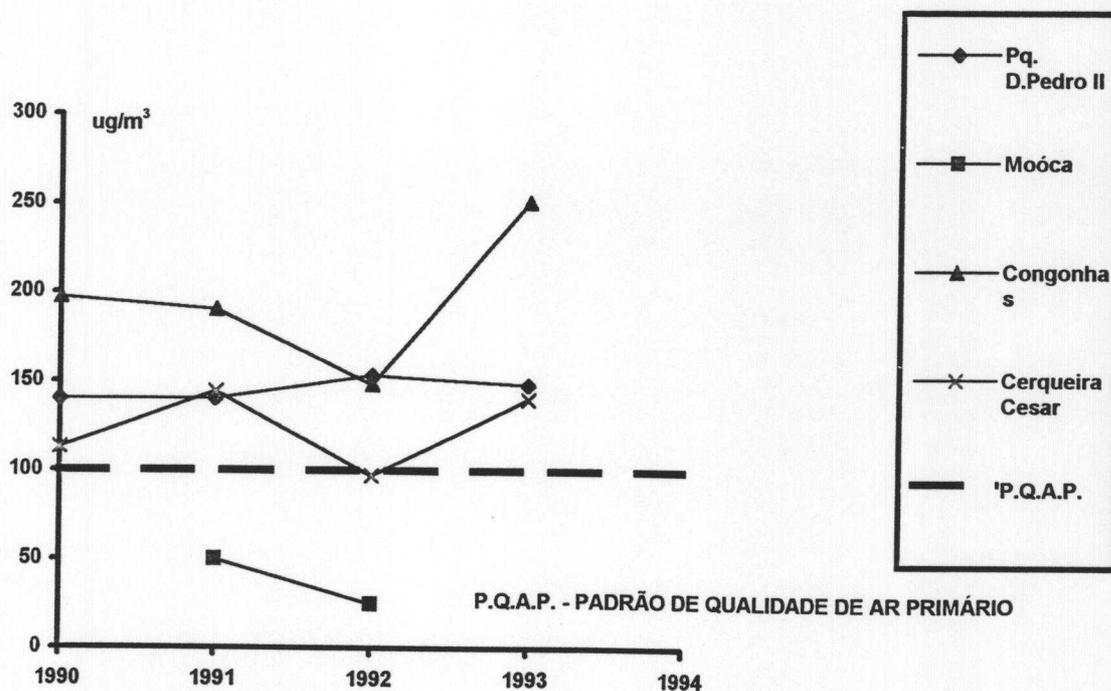


FIGURA - 4- ÓXIDOS DE NITROGÊNIO - RMSP
MÉDIA ARITMÉTICA ANUAL.

Fonte : CETESB,1996,Tabela F, p.63/64

Os programas da CETESB para controle das emissões originárias de fontes estacionárias, na RMSP, referem-se ao controle das emissões de particulados, fumaça preta e dióxido de enxofre, não se identificando programas de controle e redução das emissões de origem

industrial para o NO_x , CO, HC, e CH_4 . Como já comentamos sobre a configuração da rede automática e manual de controle, esta não abrange as áreas industriais mais importantes da RMSP e mesmo para áreas apresentadas não foram levantados dados para os anos de 1994 e 1995.

3.3.4 Monóxido de Carbono e Ozônio

Segundo a CETESB em 1994, entre 10 a 20% dos dias, o padrão de 8 horas (9 ppm) para a presença de CO, foi excedido nas estações de monitoramento de Cerqueira Cesar, Centro e Parque D. Pedro II, e o nível de atenção (15 ppm) foi excedido entre 1 a 3% dos dias (CETESB, 1996).

O padrão de uma hora (160 ug/m^3), para a presença de O_3 , foi também ultrapassado, bem como o nível de atenção (200 ug/m^3), em porcentagem de dias que varia por estação de 1 a 32% (CETESB, 1996). Como já mencionamos, a formação do ozônio, é decorrente das reações de hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio na presença de luz solar.

4. EMISSÕES APÓS A CONVERSÃO DAS INDÚSTRIAS AO GÁS NATURAL

4.1. Avaliação das Emissões

Neste trabalho procuramos estabelecer uma estimativa, a mais real possível, da situação resultante das emissões atmosféricas na RMSP, que se apresentaria, com a ampliação prevista do consumo de gás natural. Este aumento de consumo se dará em função do aumento da demanda nas indústrias que já utilizam gás natural, de novos consumidores que se iniciam neste combustível (40% do total) e da substituição de consumos atuais de óleo combustível (50%), de eletricidade (7,3%) e de biomassa (2,7%) (Technoplan/SPG,1993). Esta análise é feita tendo como base o consumo previsto na Tabela 1, que apresentamos no item 2.2, considerando os cenários para os anos de 1990 e 1995, caso houvesse disponibilidade de gás natural na ocasião e uma previsão futura para os anos de 2.000 e 2.005. As emissões resultantes, após a conversão das indústrias ao gás natural, corresponderão àquelas reduzidas principalmente pela substituição do óleo combustível e da biomassa, esta última em escala muito menor, acrescidas daquelas que serão geradas pela aumento da utilização do gás natural e devido a substituição da eletricidade (Technoplan/SPG,1993). Adotamos também que os gases combustíveis (gás de nafta, GLP, propano) são equivalentes em emissões ao gás natural, com base na sua equivalência térmica (EPA,1995).

A estimativa das emissões que serão geradas pelo gás natural e reduzidas pela substituição dos outros combustíveis é feita baseada nos índices da EPA - Environmental Protection Agency, apresentados no manual "Compilation of Air Pollutant Emission Factors", em sua edição de janeiro de 1995 (EPA,1995). O manual também é utilizado pela CETESB para

cômputo das emissões em seus relatórios anuais (CETESB,1996), considerando as emissões que ocorreriam com a utilização dos combustíveis substituídos, sem aplicação de nenhum equipamento de redução.

Consideramos também que, para as emissões de SO_x e MP a serem avaliadas, sejam adotadas as mesmas reduções inventariadas entre os anos 1990 e 1995, em decorrência dos programas de controle aplicados. Nesta comparação consideramos a correspondência entre o gás natural e os outros combustíveis, pela sua equivalência térmica (Poder Calorífico Superior), condições normais de carga e de operação, e atividade média de 335 dias por ano por parte das indústrias consumidoras.

Foram adotados os coeficientes indicados pela EPA para caldeiras industriais (que representam 55% dos equipamentos que consomem gás natural na indústria), considerando-se, quando necessário, que 80% destas sejam de pequeno porte, ou seja entre $10,542 \cdot 10^9$ e $105,42 \cdot 10^9$ Joule/h (EPA,1995). Com estes coeficientes calculamos as emissões de todos combustíveis, do gás natural, dos derivados de petróleo, da biomassa e do gás natural final previsto após as substituições e aumento de consumo.

Para avaliação do impacto consideramos as emissões inventariadas pela CETESB apresentadas no item 3.3, Tabela 4, para os processos industriais, nos anos de 1990 e 1995 (neste último ano apenas para SO_x e MP), através de levantamento feito junto à indústrias da região (de 300 a 800), (CETESB,1996). Como esta avaliação está disponível apenas para os anos de 1990 e para SO_x e MP em 1995, é feita uma estimativa para os outros poluentes no ano de 1995 e uma projeção para os anos de 2000 e 2005, caso não se modificasse o cenário dos combustíveis, ou seja sem o aumento previsto de gás natural.

Para se estabelecer o quadro das emissões industriais na RMSP, nos próximos anos, foi considerado, em princípio, que elas seriam proporcionais às estimativas dos volumes de

combustíveis que serão consumidos nestes anos, ponderando-se também a participação de cada um na geração de cada poluente. Consideramos também, que em vista de melhor fiscalização das fontes de emissões pelos órgãos públicos, da modernização dos equipamentos de produção, da melhoria na escolha e qualidade dos combustíveis e dos processos de operação industrial, haveria uma redução das emissões em geral, que adotamos arbitrariamente, simplesmente como hipótese de trabalho, em 1% ao ano. valor este a ser revisto assim que possível. Na Tabela-6, a seguir, apresentamos o quadro das emissões, considerando todas as condições acima;

TABELA - 6 - EMISSÕES INDUSTRIAIS NA RMSP EM 1990 E 1995 (MP, SO_x) E ESTIMATIVA PARA OS ANOS DE 1995 (NO_x, CO, HC) 2000, 2005, SEM O AUMENTO DE CONSUMO DO GÁS NATURAL, EM 100 T/ANO

EMISSÕES	MP	SO _x	NO _x	CO	HC
1990 (*)	440	440	140	386	120
1995	345(*)	140(*)	245	338	142
2000	345	141	253	387	154
2005	350	145	262	433	163

(*) CETESB

Fonte : CETESB, 1996 e projeções

Nas Tabelas nº 7 a 10, a seguir, indicamos a relação dos combustíveis substituídos, o seu tipo, quantidade, o gás natural equivalente, ou seja o que seria consumido em sua substituição, e a quantidade de poluentes prevista, emitidas pelos combustíveis substituídos e pelo gás natural, incluindo este último outros gases como GLP, propano e gás de nafta, em equivalência térmica. Indicado os volumes dos combustíveis, calculado as emissões correspondentes, inclusive a situação final prevista, é feito um balanço para os quatro cenários previstos. Este balanço (diferença) entre as duas situações é a seguir comparado com as emissões industriais inventariadas pela CETESB para os anos de 1990 e 1995(parte) e as estimativas para os anos de 2.000 e 2.005. Para facilitar a comparação com os dados da CETESB , às emissões de SO₃ foram adicionadas às de SO₂ e as de CH₄ ao de HC, como feito pela mesma em seu inventário, apresentado na Tabela - 4 (CETESB,1996).

TABELA.7 - BALANÇO DAS EMISSÕES COM O AUMENTO DE CONSUMO DO GÁS NATURAL NA R.M.S.P. - ANO DE 1990

COMBUSTÍVEIS	QUANT.	GÁS NAT. EQV.	EMISSIONES ATMOSFERICAS								CH4	CO2
			M.P.	PM-10	SO2	SO3	NO2	CO	HC			
	(a)	M3/DIA (b)	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO
GÁS NATURAL	749954	749954	0,598	0,256	0,027	0,000	10,142	1,645	0,114	0,112	4773	
COMBUSTIVEIS SUBSTITUIVEIS :												
DERIVADOS DE PETRÓLEO:												
ÓLEO COMBUSTÍVEL :												
1A	898237	994267	13,920	11,997	217,256	2,744	30,033	1,805	0,102	0,361	8954	
2A	468205	511537	7,431	6,405	116,225	1,468	15,654	0,941	0,053	0,188	4721	
3A	159222	173789	0,675	0,585	8,108	0,102	5,324	0,320	0,018	0,064	1606	
1B	135217	145660	0,624	0,541	7,746	0,098	2,819	0,272	0,011	0,003	1232	
2B	14067	15122	0,070	0,061	0,895	0,011	0,293	0,028	0,001	0,000	128	
3B	21798	23931	0,076	0,066	0,832	0,011	0,546	0,044	0,002	0,000	197	
6B	602631	629044	3,008	2,604	38,357	0,485	12,563	1,211	0,048	0,012	6210	
C4	22093	24648	0,110	0,095	1,406	0,018	0,739	0,044	0,003	0,009	220	
ÓLEO DIESEL	49207	47945	0,040	0,020	1,121	0,016	1,026	0,099	0,004	0,001	448	
QUEROSENE	2297	2713	0,002	0,001	0,005	0,000	0,048	0,005	0,000	0,000	21	
SUB - TOTAL		2568656	25,957	22,375	391,952	4,953	69,043	4,770	0,243	0,639	23737	
BIOMASSA:												
MADEIRA	654526	229778	10,420	3,251	0,107	0,000	2,171	19,681	0,420	0,000	1118	
ÁLCOOL	6241	3572	0,000	0,000	0,000	0,000	0,146	1,390	0,178	0,000	36	
SUB-TOTAL		233350	10,420	3,251	0,107	0,000	2,317	21,072	0,598	0,000	1153	
TOTAL DAS EMISSÕES			36,975	25,882	392,086	4,953	81,503	27,486	0,955	0,751	29663	
ELETRICIDADE		344227										
GÁS NATURAL TOTAL FINAL (e)		3896187	3,108	1,328	0,142	0,000	52,692	8,545	0,593	0,582	24799	
BALANÇO DA EMISSÕES (d)			33,87	24,55	396,90	4,95	28,81	18,94	0,53	0,17	4864	
EMISSIONES NA RMSP EM 1990 (e)			440,00		440,00		140,00	386,00	120,00			
REDUÇÃO DAS EMISSÕES - %			7,7		90,2		20,6	4,9	0,4		16,4	

(a) Quantidade dos combustíveis líquidos expressos em l/dia, madeira em kg/dia e o gás natural em m3/dia.

(b) O equivalente em gás natural dos combustíveis substituíveis, considerando o Poder Calorífico Superior.

(c) O gás natural indicado é o consumido ou o equivalente que seria consumido em substituição, conforme Tabela -1.

(d) Balanço das emissões considerando a diferença entre as emissões dos combustíveis substituíveis e as geradas pelo gás natural.

(e) Emissões atmosféricas, de origem industrial, no ano de 1990 e 1995 para SOx e MP segundo CETESB (2), e estimativas e estimativas para os outros casos. Os valores de SO2 incluem os de SO3 e os de HC os de CH4, como na estimativa da fonte (2).

TABELA.8 - BALANÇO DAS EMISSÕES COM O AUMENTO DE CONSUMO DO GÁS NATURAL NA R.M.S.P. - ANO DE 1995											
COMBUSTÍVEIS	QUANT.	GÁS NAT.EQV.	EMISSIONES ATMOSFÉRICAS								
			M.P.	PM-10	SO2	S03	NO2	CO	HC	CH4	CO2
	(a)	M3/DIA (b)	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO
GÁS NATURAL	2130347	2130347	1,699	0,726	0,078	0,000	28,811	4,672	0,324	0,318	13560
COMBUSTÍVEIS SUBSTITUIVEIS :											
DERIVADOS DE PETRÓLEO:											
ÓLEO COMBUSTÍVEL :											
1A	987243	1092789	11,934	10,285	76,411	0,965	33,008	1,984	0,112	0,397	9841
2A	396350	433032	4,907	4,229	31,484	0,398	13,252	0,797	0,045	0,159	3997
3A	88918	97053	1,127	0,971	7,244	0,092	2,973	0,179	0,010	0,036	897
1B	137657	148288	0,455	0,395	2,243	0,028	2,870	0,277	0,011	0,003	1254
2B	12671	13621	0,046	0,040	0,232	0,003	0,264	0,025	0,001	0,000	115
3B	27452	30139	0,107	0,093	0,559	0,007	0,687	0,055	0,002	0,001	248
6B	789850	824469	3,075	2,662	16,088	0,203	16,466	1,588	0,064	0,016	8139
C4	25770	28750	0,100	0,087	0,525	0,007	0,862	0,052	0,003	0,010	257
ÓLEO DIESEL	57154	55689	0,036	0,018	0,417	0,006	1,191	0,115	0,005	0,001	521
QUEROSENE	2546	3007	0,002	0,001	0,002	0,000	0,053	0,005	0,000	0,000	23
SUB - TOTAL		2726837	21,788	18,780	135,205	1,708	71,626	5,076	0,253	0,623	25291
BIOMASSA:											
MADEIRA	415311	145799	6,611	2,063	0,068	0,000	1,377	12,488	0,267	0,000	709
ÁLCOOL	5084	2910	0,000	0,000	0,000	0,000	0,119	1,133	0,145	0,000	29
SUB-TOTAL		148709	6,611	2,063	0,068	0,000	1,497	13,621	0,411	0,000	738
TOTAL DAS EMISSÕES			30,099	21,569	137,059	1,708	101,934	23,370	0,989	0,941	39589
ELETRICIDADE		397242									
GÁS NATURAL TOTAL FINAL (c)		5403135	4,310	1,841	0,197	0,000	73,072	11,850	0,822	0,807	34391
BALANÇO DA EMISSÕES (d)			25,79	19,73	138,57	1,71	28,86	11,52	0,30	0,13	5198
EMISSIONES NA RMSP EM 1995 (e)			345,00		140,00		245,33	338,19	141,75		
REDUÇÃO DAS EMISSÕES - %			7,5		99,0		11,8	3,4	0,2		13,1

Nota : São válidas as mesmas notas da Tabela - 7.

TABELA.9 - BALANÇO DAS EMISSÕES COM O AUMENTO DE CONSUMO DO GÁS NATURAL NA R.M.S.P. - ANO DE 2000

COMBUSTÍVEIS	QUANT.	GÁS NAT.EQV.	EMISSIONES ATMOSFÉRICAS								
			M.P.	PM-10	SO2	S03	NO2	CO	HC	CH4	CO2
	(a)	M3/DIA (b)	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO
GÁS NATURAL	2553963	2553963	2,037	0,870	0,093	0,000	34,540	5,601	0,389	0,381	16256
COMBUSTÍVEIS SUBSTITUIVEIS :											
DERIVADOS DE PETRÓLEO:											
ÓLEO COMBUSTÍVEL :											
1A	1008980	1116850	11,472	9,895	76,295	0,964	33,735	2,028	0,115	0,406	10058
2A	356103	389060	4,182	3,607	27,924	0,353	11,906	0,716	0,041	0,143	3591
3A	90620	98911	1,030	0,889	6,852	0,087	3,030	0,182	0,010	0,036	914
1B	168827	181866	0,577	0,501	2,742	0,035	3,519	0,339	0,014	0,003	1538
2B	14034	15087	0,049	0,043	0,236	0,003	0,293	0,028	0,001	0,000	128
3B	27452	30139	0,096	0,083	0,461	0,006	0,687	0,055	0,002	0,001	248
6B	789850	824469	2,727	2,368	13,051	0,165	16,466	1,588	0,064	0,016	8139
C4	26476	29538	0,132	0,114	0,741	0,009	0,885	0,053	0,003	0,011	264
ÓLEO DIESEL	55002	53592	0,044	0,022	1,253	0,018	1,147	0,111	0,004	0,001	501
QUEROSENE	2546	3007	0,002	0,001	0,005	0,000	0,053	0,005	0,000	0,000	23
SUB - TOTAL		2742519	20,312	17,523	129,562	1,638	71,721	5,105	0,254	0,617	25403
BIOMASSA:											
MADEIRA	491349	172493	7,822	2,441	0,080	0,000	1,630	14,775	0,315	0,000	839
ÁLCOOL	5720	3274	0,000	0,000	0,000	0,000	0,134	1,274	0,163	0,000	33
SUB-TOTAL		175767	7,822	2,441	0,080	0,000	1,764	16,049	0,478	0,000	872
TOTAL DAS EMISSÕES		2918286	30,171	20,835	129,736	1,638	108,025	26,756	1,121	0,999	42531
ELETRICIDADE		416444									
GÁS NATURAL TOTAL FINAL (c)		5888693	4,697	2,007	0,215	0,000	79,638	12,915	0,896	0,879	37482
BALANÇO DA EMISSÕES (d)			25,47	18,83	131,16	1,64	28,39	13,84	0,34	0,12	5049
EMISSIONES NA RMSP EM 2.000 (e)			345,00		140,85		253,03	387,13	153,77		
REDUÇÃO DAS EMISSÕES - %			7,4		93,1		11,2	3,6	0,2		11,9

Nota : São válidas as mesmas notas da Tabela - 7.

TABELA.10 - BALANÇO DAS EMISSÕES COM O AUMENTO DE CONSUMO DO GÁS NATURAL NA R.M.SP. - ANO DE 2005											
COMBUSTÍVEIS	QUANT.	GÁS NAT.EQV.	EMISSIONES ATMOSFÉRICAS								
			M.P.	PM-10	SO2	S03	NO2	CO	HC	CH4	CO2
	(a)	M3/DIA (b)	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO	10 ² T/ANO
GÁS NATURAL	2130347	2130347	1,699	0,726	0,078	0,000	28,811	4,672	0,324	0,318	13560
COMBUSTÍVEIS SUBSTITUIVEIS :											
DERIVADOS DE PETRÓLEO:											
ÓLEO COMBUSTIVEL :											
1A	1037650	1148585	11,798	10,176	78,463	0,991	34,694	2,086	0,118	0,417	10344
2A	387873	423771	4,556	3,929	30,416	0,384	12,969	0,780	0,044	0,156	3911
3A	92502	100965	1,052	0,907	6,995	0,088	3,093	0,186	0,011	0,037	933
1B	171676	184934	0,586	0,509	2,789	0,035	3,579	0,345	0,014	0,003	1564
2B	16674	17925	0,058	0,051	0,280	0,004	0,348	0,034	0,001	0,000	152
3B	27452	30139	0,096	0,083	0,461	0,006	0,687	0,055	0,002	0,001	248
6B	789850	824469	2,727	2,368	13,051	0,165	16,466	1,588	0,064	0,016	8139
C4	27097	30231	0,135	0,117	0,759	0,010	0,906	0,054	0,003	0,011	270
ÓLEO DIESEL	57996	56509	0,047	0,023	1,321	0,019	1,209	0,117	0,005	0,001	528
QUEROSENE	2546	3007	0,002	0,001	0,005	0,000	0,053	0,005	0,000	0,000	23
SUB - TOTAL		2820535	21,057	18,165	134,540	1,701	74,003	5,249	0,262	0,643	26112
BIOMASSA:											
MADEIRA	575363	201987	9,159	2,858	0,094	0,000	1,908	17,301	0,369	0,000	983
ÁLCOOL	6673	3819	0,000	0,000	0,000	0,000	0,156	1,487	0,190	0,000	38
SUB-TOTAL		205806	9,159	2,858	0,094	0,000	2,065	18,788	0,559	0,000	1021
TOTAL DAS EMISSÕES		3026341	31,916	21,749	134,712	1,701	104,878	28,709	1,145	0,961	40692
ELETRICIDADE		441167									
GÁS NATURAL TOTAL FINAL (c)		5597855	4,465	1,908	0,205	0,000	75,705	12,277	0,852	0,836	35630
BALANÇO DA EMISSÕES (d)			27,45	19,84	136,21	1,70	29,17	16,43	0,42	0,12	5062
EMISSIONES NA RMSP EM 2.005 (e)			349,91		144,80		261,72	433,11	163,13		
REDUÇÃO DAS EMISSÕES - %			7,8		94,1		11,1	3,8	0,3		12,4

Nota : São válidas as mesmas notas da Tabela - 7.

4.2 Análise dos resultados obtidos e comentários gerais

Observando o balanço das emissões atmosféricas industriais na RMSP, apresentadas na Tabela N^o 7,8,9,10, onde se considera o aumento da participação do gás natural, em sua utilização industrial na RMSP, nos diversos cenários, e uma estimativa da situação de cada poluente em particular, chega-se a alguns comentários.

Como esperado são os óxidos de enxofre que apresentam a redução mais expressiva nas emissões industriais, que teriam a redução média de 94% do SO_x, o que representa no conjunto a retirada de quase 13,2 % do total inventariado na região pela CETESB (CETESB,1996).

Esta empresa, em seu último relatório de 1995, apresentou novos dados sobre o SO_x, avaliados junto a 400 empresas. Estes dados indicaram uma redução de 68% das emissões geradas pela operação de processos industriais em relação aos dados de 1990; o que se considera como resultado do programa de redução iniciado em 1982; que em 1987 já apresentava resultado, adequando-se a região aos padrões primários de qualidade do ar (CETESB,1996).

Esta redução é atribuída principalmente à substituição dos óleos combustíveis por outros tipos de óleo com menor teor de enxofre e à aplicação de equipamentos para redução de emissões de SO_x.

Apesar desta grande redução indicada para as emissões industriais de SO_x na região, nos relatórios de 1994 e 1995 da CETESB, os dados colhidos pelas estações da Rede Automática da CETESB, mostram que se compararmos 14 pontos de amostragem, em áreas tipicamente industriais ou próximas das mesmas, verificaremos que tanto as máximas diárias como as médias aritméticas anuais reduziram em média próximo de 14%; isto pode ser explicado pela grande expressão das emissões veiculares, aliás, o último relatório citado atribui 77,2%

aos veículos a diesel e 8,4% aos veículos a gasolina (CETESB,1996).

Apesar da CETESB considerar a presença de SO_x na região como já controlada, em alguns locais, com as emissões abaixo dos padrões secundários de qualidade do ar, a redução das emissões industriais com o aumento de consumo de gás natural é quase total.

A respeito do material particulado, um problema grave de poluição do ar na região, a sua geração pelos processos industriais corresponde a mais de 46% do total emitido na RMSP em 1990, e responsável por 10% do total de emissão de partículas inaláveis (PM-10) (CETESB,1996).

Segundo a CETESB, entre 1990 e 1995 houve uma redução de 21,6% nas emissões industriais de material particulado, conforme inventário junto a 305 indústrias, este fato atribuído ao programa de redução de emissões de particulados, iniciado em 1979 junto aos maiores emissores, e também em decorrência do programa de controle de SO_x .

Esta redução também ocorreu primordialmente devido à utilização de óleos mais leves, com menor conteúdo de enxofre e de cinzas e a aplicação de equipamento de redução de emissões (SO_x e MP).

Por outro lado, como enfatiza a CETESB, de 21 estações de amostragem de partículas inaláveis instaladas na RMSP, que são as mais danosas à saúde humana, 20 estão acima do padrão primário de qualidade. Em relação às partículas totais em suspensão, das dez estações da RMSP cinco encontram-se acima do padrão nacional primário de qualidade e, destas seis, três são regiões industriais (Osasco, São Caetano do Sul e São Bernardo do Campo) (CETESB,1996).

Com a entrada do gás natural, na quantidade prevista em nossa hipótese base, haverá uma redução de 7,6% do total emitido pela indústria o que representa 3,5% do total emitido em toda a região.

A redução percentual de material particulado resultante não é muito expressiva mas deverá colaborar com a qualidade do ar nas regiões industriais, onde quase todas estão em situação bastante crítica, muito agravada pelas emissões veiculares, responsáveis por 40% do total emitido.

Por outro lado, mesmo considerando que os óxidos de nitrogênio são os principais poluentes gerados na combustão do gás natural, a partir do cenário do ano de 1995 teríamos a redução de 13,7% em relação ao que seria emitido pelos combustíveis que o gás natural substituiria. Isto é explicado pela elevada presença de nitrogênio nos óleos combustíveis nacionais.

Deve ser considerado que, com a entrada de maiores volumes de gás natural, previsto com a importação da Bolívia entra em cogitação a geração termoelétrica a gás, importante geradora de NO_x , pois as turbinas a gás normalmente utilizadas na geração térmica, emitem quatro vezes mais NO_x do que as utilizadas na indústria, o que deverá ser considerado e tomado como um alerta (EPA,1995).

Como exemplo, uma termoelétrica a gás para a geração de 700 MW, que deverá consumir cerca de 3,4 milhões de m^3/dia , lançará na atmosfera, caso não utilize alguma tecnologia de controle e redução, ao redor de $100 \cdot 10^2 \text{ t/ano}$ de NO_x (4), quantidade um quarto acima de tudo que seria emitido na distribuição de gás natural para indústria previsto para a RMSP no ano de 2005.

Entretanto deve ser considerado que a produção do NO_x na combustão do gás natural depende bastante do processo de queima, particularmente da temperatura da câmara de combustão e da faixa de resfriamento dos produtos. A aplicação de tecnologias disponíveis para reduzir a formação de NO_x , pode reduzir estas emissões de 60 a 80% em processos industriais e de 70 a 90% na geração termoelétrica, conforme a tecnologia implantada (EPA,1995).

Um aspecto a destacar é que a rede da CETESB não possui estações de monitoramento de

NO_x nas áreas industriais (ver item 3.3), o que nos deixa sem uma avaliação atual das emissões industriais deste poluente, sendo a sua produção seriamente agravada pelo setor de transporte, devido ao grande consumo de diesel e reduzido número de veículos leves com catalisadores instalados, somente nos modelos mais novos.

Com referência ao CO₂, como esperado, haverá uma redução ao redor de 14% do que seria emitido pelos combustíveis substituídos, o que é bastante favorável, por sua influência no efeito estufa, hoje uma preocupação mundial, particularmente tratando-se de uma das grandes concentrações urbanas.

As parcelas de redução de 4,9 a 3,4 % do CO e próxima de 0,3% para o HC e CH₄, são pouco significativas, tendo em conta o volume de emissões geradas pelos veículos em geral, de grande magnitude (40 a 50 vezes maior) (CETESB,1996).

No caso do CO, conforme alertado pela EPA, as emissões geradas na queima industrial de óleos combustíveis podem ser de 10 a 100 vezes maior do que o valor indicado pelo seus índices, caso ocorra a operação e/ou manutenção inadequada dos equipamentos.

No capítulo 5 a seguir será discutido a eventual mudança na eficiência energética das indústrias que converteram seus equipamentos ao gás natural, em particular as pertencentes ao segmento de Papel e Celulose, Alimentos e Congêneres, Vidro e Cerâmica.

5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APÓS A CONVERSÃO AO GÁS NATURAL

5.1 Geral

Em uma análise dos impactos da presença de grandes volumes de um novo combustível se faz necessário uma avaliação da sua aplicação e resultados, aspecto bastante relacionado com o meio ambiente, no final, sempre a vítima de todos os excessos e desperdícios de uma sociedade.

A eficiência energética, ou seja, a relação entre o consumo de energia e a quantidade de produto obtido, não é só de interesse das indústrias, na busca de redução dos custos, sendo também, e cada dia mais, uma exigência da sociedade, que começa a se preocupar com a economia de seus recursos em geral e na defesa do seu meio ambiente

Neste trabalho busca-se uma primeira avaliação da eficiência energética ocorrida, com a entrada do gás natural, da maneira mais direta possível, considerando-se o consumo de combustíveis antes da conversão das indústrias a este energético e o seu consumo posterior. O quociente entre estes consumos e a produção realizada pela unidade produtiva nos dois períodos, será o índice de medida desta eficiência.

Para a coleta dos dados, após a escolha das empresas de cada setor, considerando o seu produto e nível de consumo, contatado o responsável pela área de energia e obtido o seu acordo em participar da pesquisa, foram enviados, via fax, os questionários da pesquisa. Nestes documentos solicitou-se informar o consumo de combustível ocorrido nos últimos dois anos antes da conversão dos equipamentos e nos últimos dois anos em que utilizou gás natural e consultado também sobre questões gerais e específicas, por segmento, referentes a conversão ao gás natural (Ver Anexo -1).

5.2 Metodologia utilizada para a seleção dos segmentos industriais.

Esta pesquisa foi feita junto a uma parcela significativa de consumidores industriais de gás natural na RMSP (consultou-se metade dos consumidores em maio de 1995), selecionados, dentro de cada setor industrial escolhido, conforme seus diferentes produtos e níveis de consumo.

A pesquisa visava obter os dados de maneira a mais estratificada possível, considerando-se a demanda de cada equipamento de produção, por área de produção ou unidade produtiva, com o objetivo de se estabelecer os dados de eficiência por equipamento, e uma relação com as etapas de produção ou unidade produtiva. Esta estratificação da demanda por equipamento e fases de processo, apesar de nossa proposta inicial, não foi possível de ser obtida das empresas consultadas; assim a pesquisa trabalhou com dados por unidade produtiva.

Além dos dados quantitativos relativos ao consumo, foi realizada uma pesquisa qualitativa, mais ampla, apresentado-se aos consumidores diversas questões relativas à conversão ao gás natural, como eventual mudança de consumo em pontos da linha de produção, os custos relativos da energia e da conversão, mudanças no custos de operação e manutenção, a redução das emissões atmosféricas e eventual introdução de novas tecnologias disponíveis.

Estas informações foram solicitadas às indústrias através de questionários específicos por segmento industrial, para uma avaliação da eficiência energética e outros dados sobre a conversão.

Os principais segmentos industriais que consomem gás natural na RMSP (em junho de 1995) são os indicados no gráfico abaixo, onde se destacam, pelo volume, os de metalurgia e química como grandes consumidores, seguidos pelos setores do vidro, de

cerâmica, papel e o de alimentos e bebidas. Para a nossa análise escolhemos estes quatro segmentos citados por último por representarem 42% do total fornecido à indústria e que, em seus variados processos, apresentam possibilidades de otimização da produção com a aplicação do gás natural, fato já verificado em outros países e também para estabelecer os limites do presente trabalho.

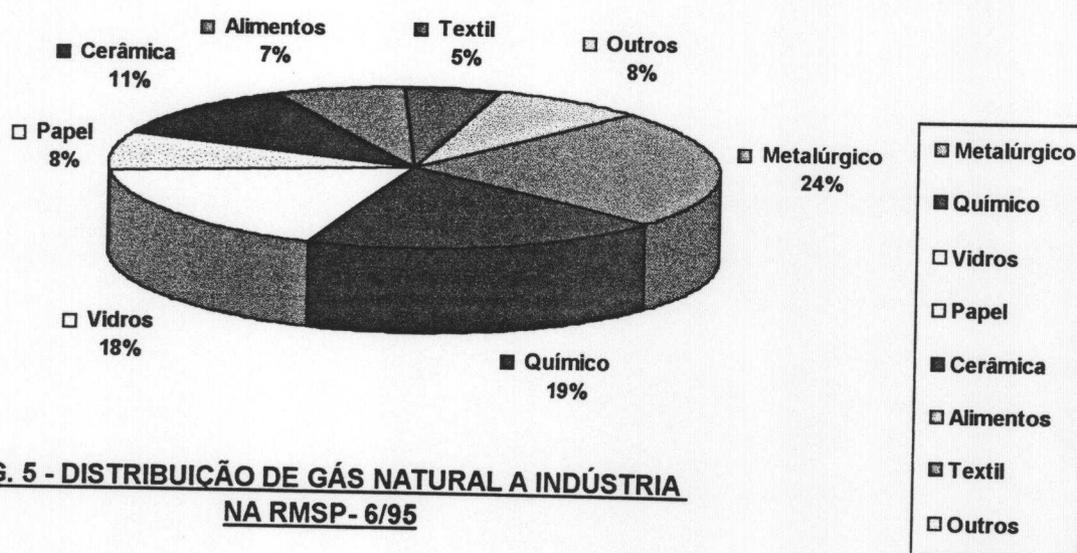
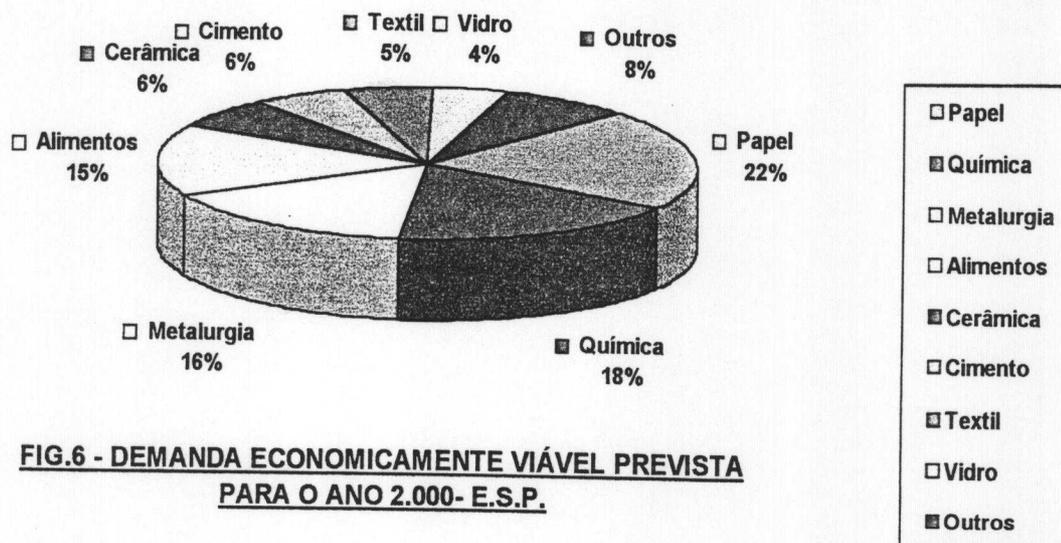


FIG. 5 - DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL A INDÚSTRIA NA RMSP - 6/95

Fonte : COMGÁS, 95

Os segmentos escolhidos são internacionalmente conhecidos como típicos consumidores de consideráveis volumes de gás natural e que, por diversas características do seu processo, privilegiam a sua utilização e possibilitam a aplicação de diversas tecnologias, que melhoram o produto e reduzem o consumo de energia (AGA,1988a)

Conforme a pesquisa de mercado que tomamos como base, estes setores industriais, como indicado na Figura N° 6 abaixo, deverão representar, no ano 2000, 47% do consumo industrial em todo Estado de São Paulo (Technoplan/SPG,1993).



**FIG.6 - DEMANDA ECONOMICAMENTE VIÁVEL PREVISTA
PARA O ANO 2.000- E.S.P.**

Fonte: Technoplan/SPG, 1993

A Tab. 11 indica o universo dos consumidores consultados, por segmento, o número de empresas investigadas, o número de respostas obtidas e sua propriedade, conforme detalhado a seguir.

TABELA -11 - INDÚSTRIAS CONSULTADAS E RESPOSTAS OBTIDAS

EMPRESAS / SEGMENTO	Total (1995)	Consultadas	Responderam	Resposta Satisfatórias
Alimentação	24	11	8	6
Papel e Celulose	17	8	7	7
Vidros e Cristais	13	7	6	5
Cerâmica	5	5	5	4
Total	61	31	26	22
%	100	51	43	36

Fonte : COMGÁS, 1995, questionários

5.2.1 Papel e Celulose

O segmento de Papel e Celulose, em 1995, representou 3,4 % do consumo final de energia no Brasil e 8,8 % de todo consumo industrial, sendo o quinto maior consumidor

industrial de energia e o segundo mais intensivo no Brasil (MME,1995). O gás natural representou neste ano 4,6 % do consumo energético deste segmento no Estado de São Paulo (BEESP,1996).

Este segmento opera com grandes quantidades de calor e eletricidade para o acionamento motriz, sendo, nos EUA, o maior campo de aplicação industrial de cogeração de eletricidade. Em 1990, havia 9.000 MW instalados em cogeração, sendo que 12 % deste total era gerado utilizando gás natural (AGA,1988a).

Na linha de produção de Papel e Cartão, na França, 50% da energia total consumida é na operação de secagem, onde é gasta 90% da energia térmica do processo com o custo da energia, representando de 10 a 15% do custo final do produto. Nesta linha de aplicação, na França, segundo a Gaz de France, o gás natural permite a economia de 6 a 8% no consumo de energia e de 50% no custo de manutenção (GDF,1988).

Na análise de consumo energético, é importante considerar o processo industrial em questão, pela sua diversidade não só na fabricação de papel e pasta celulósica, como também nas atividades relacionadas, como cartão, gráfica e embalagens, com diferentes consumos específicos de energia. Este consumo também varia conforme o tipo de matéria prima utilizada e o "mix" de produtos finais (IPT,1992a).

Este segmento, que no Brasil é bastante desenvolvido, na década passada reduziu a participação dos derivados de petróleo no seu consumo de energia, de 49,6% a 13,5% aumentando o consumo de biomassa, com a utilização dos resíduos de celulose, atingindo assim redução significativa do custo de aquisição de energia (IPT,1988a).

Na distribuição da COMGÁS, para a RMSP, este segmento ocupa o quinto lugar entre os consumidores industriais.

Na investigação realizada neste segmento, consumidores importantes atestaram uma economia no consumo de 8 a 30 % após a conversão e, em um caso isolado, a redução

de apenas 2% o que parece ser um dado fora da média. Na área de Embalagem, foram indicadas reduções de 30 a 53 %. A grande maioria destes consumidores não localizam os pontos do processo produtivo onde ocorreu a redução de consumo.

Quanto à relação custo da energia/produto final a resposta varia de 4 a 11% nas indústrias de papel e celulose e menos de 1% no de embalagem .

Foi unânime a confirmação da redução nas emissões de óxidos de enxofre e de material particulado, e quase consenso sobre a significativa redução do custo de operação, manutenção e limpeza dos equipamentos. Em um dos consumidores do grupo de embalagem, a limpeza, que era mensal, passou a semestral.

Com relação ao desgaste dos equipamentos, mais da metade dos consultados afirmaram ter este diminuído, sem fornecer entretanto um parâmetro.

O custo da conversão variou de US\$ 0,12/m³/mês a US\$ 0,73/m³/mês, segundo as respostas obtidas.

Duas empresas revelaram ter feito estudos sobre cogeração, concluindo pela sua inviabilidade, tendo em vista os investimentos muito elevados e um retorno pouco atrativo.

Duas empresas aplicaram tecnologias de secagem com ar quente a gás, sendo que uma delas por irradiação de infravermelho a gás e sistema de "flash drier" , processos de melhor eficiência energética. Dois consumidores importantes atestam ter havido ganho na automação e controle das caldeiras após a conversão a gás e um outro adotou o sistema de pré aquecimento de ar.

5.2.2 Alimentos e Congêneres

Em geral, na produção de alimentos, 64% da energia consumida é sob a forma de vapor,

sendo o restante repartido na aplicação direta da queima de combustível e no consumo de energia elétrica. (AGA,1988a)

O vapor é utilizado, em grande parte (39%), nos processos produtivos em geral, como pasteurização, enlatamento, preparação, empacotamento e diversos, sendo o restante utilizado nas operações de evaporação, água quente, cozimento, condensação e secagem (AGA,1988b).

O segmento tem como característica, ser bastante estratificado, com grande quantidade de produtos e estes bastante diversificados.

Em todo mundo é grande a importância do gás natural neste ramo industrial, como combustível preferencial; recentemente, apesar da crescente participação da eletricidade, a introdução de novas tecnologias a gás, de maior eficiência, faz com que este energético tenda a aumentar a sua participação no segmento. Este segmento apresenta possibilidades de adoção da cogeração a gás, em pequena escala, além de boas oportunidades para a introdução nos seus processos, de bombas de calor que são equipamentos de grande eficiência energética. (AGA,1988b)

Na RMSP, o segmento de Alimentos e Congêneres consumiu 7% de todo gás natural distribuído em junho de 1995, ocupando a sexta posição entre os consumidores industriais (COMGÁS,1995).

Para a maioria dos consumidores consultados, que efetuaram a conversão ao gás natural, houve redução de consumo de energia, que variou de 7 a 28 % no de refino de óleo de 29% no setor doces e confeitos e de 26 a 32 % no setor de torrefação de café.

Também aqui os consultados atestam a redução de consumo de energia sem indicar em que ponto ou fase particular de seu processo de fabricação isto ocorreu.

Entre as indústrias de torrefação de café consultadas houve um caso de aumento considerável de consumo (100%), justificado pelo consumidor por condições

excepcionais de operação, como redução do fator de carga em 50%, aumento da temperatura de processo (visando reduzir as emissões de material particulado) e redução da tarefa horária de 16 para 9 horas aumentando assim as perdas na pós operação e no pré - aquecimento.

O custo da energia em relação ao produto final levantado foi de 0,55% em torrefação; 0,85% no setor de balas; 1,4% no refino de óleo; e de 5% em doces e confeitos. Todos atestam ter havido grande redução das emissões, sem entretanto fornecer um parâmetro de avaliação. Um consumidor informa que o seu custo de conversão ao gás natural foi de US\$ 0,35/m³/mês.

Dois terços atestam ter havido redução do custo de operação, manutenção e limpeza. Sobre a limpeza, um consumidor afirmou ter conseguido uma economia de US\$ 5.000/mês representando um ganho médio de US\$ 9,7/10³ m³ de gás natural consumido. Metade dos consumidores informam que houve redução no desgaste dos equipamentos, de refratários e tubulações, chaminés e queimadores, material elétrico, fiação etc.

Apesar da importância da produção de vapor no setor, somente um consumidor informa ter aplicado um sistema de recuperação de calor e somente um dos consultados atesta a aplicação de tecnologia de recuperação de calor em caldeiras. A maioria não considera a possibilidade de realizar cogeração a gás; apenas um informou ter realizado estudos a respeito, e concluído ser economicamente viável, mas operacionalmente duvidoso e não confiável, sem explicar os motivos que o levaram a esta conclusão.

Nenhum dos consumidores que responderam aos questionários indicou a aplicação de bombas de calor, ou de alguma nova tecnologia, sendo que um deles mencionou ter empregado fornalhas de aquecimento a gás.

5.2.3 Vidro

Neste segmento, nas últimas décadas, o gás natural era o energético dominante (com participação acima de 70%), ainda hoje com grande presença, atualmente em grande concorrência com a eletricidade nos processos de fusão (AGA,1988b).

O segmento de Vidros e Cristais é composto por quatro ramificações importantes: vidro plano, vidro soprado ou prensado, vidros para usos especiais e fibra de vidro.

Nas últimas décadas este segmento reduziu o consumo de energia global, em parte devido a contração da produção nas indústrias de vasilhames, substituídos pelas embalagens plásticas, e também devido a significativos avanços na eficiência energética em todas suas ramificações (AGA,1988b).

As etapas do processo que consomem a maior parte de energia são a de fusão e, em menor escala, a de conformação, cujos consumos somam de 47% a 85% de toda energia utilizada no processo industrial, dependendo do segmento a que pertencem estas indústrias (AGA,1988b).

Neste segmento é grande a utilização de fornos automáticos, e em junho de 1995 consumia 18% de todo gás natural distribuído à indústria na RMSP (COMGÁS,1995).

Nos fornos de fusão, onde ocorre o maior consumo de combustível e na conversão de óleo combustível ao gás natural, se constatou um aumento da eficiência energética de 18 a 42 % e nas instalações de acabamento em até 35%. No setor de vidros especiais, como a conversão se realizou a partir do GLP, foi atestada a redução de apenas 1,1%, o que era esperado por se tratar de uma conversão gás/gás. Em uma conversão a partir de gás de nafta foi avaliada uma redução de consumo de 23% a 58%, valores elevados, o que pode se atribuído a uma modernização geral das instalações e equipamentos por ocasião da conversão ou até mesmo à possibilidade de erro na avaliação dos consumos ou da

produção.

A grande parte dos consultados não indica redução de consumo em pontos específicos da linha de produção e a porcentagem do custo da energia em relação ao custo do produto final foi indicada entre 4,6 a 6,4%.

É unânime a afirmação da redução dos custos de operação, manutenção e limpeza dos equipamentos, sendo que um consumidor importante atesta o aumento de vida útil dos equipamentos. No entanto, um outro indica uma pequena redução neste mesmo item, sem fornecer mais detalhes ou parâmetros.

Os consumidores confirmam a redução de SO_2 , de NO_2 , sendo que um consumidor informou ter obtido, em uma conversão de óleo combustível a gás natural, a redução nas emissões de SO_2 de 0,13 kg/h para 0,027 kg/h e de NO_2 de 25,4 kg/h para 5,0 kg/h, valores bastantes expressivos.

Entre os consultados, um consumidor diz ter adotado um novo sistema de recuperação e regeneração de calor e outro introduziu dispositivos de recuperação de calor dos gases efluentes; dois consumidores importantes introduziram o enriquecimento do ar de combustão com oxigênio; e outros dois adotaram o sistema de pré aquecimento do ar de combustão.

Nenhum dos consultados indicou ter planos para autogeração ou cogeração a gás.

5.2.4 Cerâmica

Neste segmento a energia é um insumo importante, sendo que a otimização da sua produção, com frequência subordinada à preocupação com a melhoria do acabamento do produto, depende muito do combustível utilizado.

Apesar da grande diversidade de processos utilizados, de forma geral, as etapas

fundamentais do processamento são: preparação da matéria prima, conformação e processamento térmico, sendo este último o grande consumidor de energia (IPT,1983).

O segmento é responsável por 1,5% do consumo final de energia do Brasil e ao redor de 4% de todo consumo industrial (MME,1995), sendo que na RMSP, em junho de 1995, este setor respondia por 11% da distribuição de gás natural equivalente fornecido à indústria, realizada pela COMGÁS (COMGÁS,1995).

Entre o reduzido número de consumidores consultados, nenhum atestou redução do consumo de energia e um deles indica um aumento de 16 a 42 %. Outro consultado informa ter retornado a utilizar óleo combustível, alegando razões de preço do gás em relação ao do óleo combustível e a economia final do processo.

A relação entre o custo de energia/produto final foi avaliado entre 9,5 a 25% e um consumidor indicou o custo de conversão em 0,36 US\$/ m³/ mês.

Dois consumidores afirmam ter havido redução no custo de operação, manutenção e limpeza, avaliado por um deles em 30%, aliás o mesmo que também afirma ter havido uma redução em 100 % na troca de refratários devido ao desgaste.

Nenhum dos consultados informou ter adotado algum sistema de recuperação ou regeneração de calor ou ter planos relativos a auto-geração ou cogeração. Um dos consultados diz ter aplicado tijolos refratários nas fornalhas e introduzido sistema de controle automatizado do ar de combustão e de combustível.

5.3 Análise dos dados obtidos e comentários gerais.

Várias dificuldades se apresentaram nesta pesquisa, desde a dificuldade em se obter as respostas (apesar de terem concordado em participar, da orientação permanente e das freqüentes solicitações durante mais de seis meses), acrescidas de outra dificuldades

particulares das próprias empresas.

As indústrias demonstraram não estarem acostumadas a responder este tipo de consulta, e mesmo grandes empresas multinacionais, aqui instaladas, na sua grande maioria, parecem não possuir um setor técnico responsável pelo controle e gerenciamento da energia utilizada. Grande parte das empresas não possuem o histórico deste consumo e nem uma sistemática adequada implantada para o seu acompanhamento.

Alguns dos responsáveis pelas respostas alegaram dificuldade em relacionar o consumo de energia com a produção correspondente, ou seja em caracterizar a relação consumo versus produção anual, mesmo estando totalmente livre para a sua caracterização (tonelada, metro cúbico, litros, volumes, etc).

Vários consultados consideraram estes dados como confidenciais, afirmando não terem permissão da empresa para fornecê-los. Ao responder, vários responsáveis alegaram dificuldades generalizadas para apresentar os custos de conversão ao gás natural, assim como os de manutenção e de operação.

Assim sendo, o resultado desta investigação só foi possível graças à boa vontade e à disposição de pouco mais de um terço dos questionados, de cujas respostas foram extraídos dados para caracterizar a conversão ao gás natural.

Entretanto, mesmo com os limites mencionados, a investigação destes consumidores sinaliza para a possibilidade de aumento da eficiência energética com reduções constatadas próximas de 30%, o que é um dado bastante significativo. Uma pesquisa mais aprofundada, de preferência realizada por instituto especializado, dispondo de maiores recursos, gerenciada pelas lideranças dos setores envolvidos, que estimule maior participação das empresas consumidoras (no final os maiores beneficiados), poderá trazer parâmetros e orientação mais precisa sobre este possível ganho de eficiência.

É unânime e claro o atestado, por parte dos consumidores, da redução dos custos de operação, manutenção e limpeza dos equipamentos, o que é bastante significativo, e em menor grau o fato de mais da metade confirmar a redução do desgaste dos equipamentos após a conversão.

A grande maioria dos consultados não tem planos e não demonstra interesse em realizar cogeração sem ficar claro qual o motivo desta atitude e em alguns casos alegando o alto investimento e pouca confiabilidade.

Fica patente também que apenas uma minoria, ao realizar a conversão, aplicou técnicas, mesmos as mais simples, de recuperação e regeneração de calor, e aplicação de tecnologia mais moderna, que reduzem o consumo de energia. Destacam-se no setor de Papel e Celulose, as tecnologias de secagem a ar quente e de irradiação de infravermelho a gás e no setor de Vidros e Cristais, a aplicação de sistema de enriquecimento do ar de combustão com injeção de oxigênio, o que permite concluir haver ainda um espaço significativo a ser ganho, para o avanço da conservação de energia, com a aplicação do gás natural.

Nas páginas seguintes, as Tabelas N^o 12 a 16, resumem os dados obtidos das respostas das indústrias aos questionários.

**TABELA - 12- AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
CONSUMO DE ENERGIA / PRODUÇÃO INDUSTRIAL**

SETOR INDUSTRIAL	REDUÇÃO	AUMENTO	KCAL/ KG	RESPOSTAS	
PAPEL E CELULOSE EMBALAGEM	2 a 30 % 30 a 53 %		2575 2237	3 - S	4 - N
ALIMENTOS E CONGÊNERES: REFINO DE ÓLEO - DOCES E CONFEITOS- TORREF. DE CAFÉ -	7 A 28 % 29 % 26 A 32 %	100 % *	150 A 220 2500 A 2940 480 A 505	4 - S	2 - N
VIDROS E CRISTAIS : FUSÃO ACABAMENTO VIDROS ESPECIAIS	18 A 42% 18 % 35 % 1%		2000 A 2400 220 A 110 4500	4 -S	2 -N
CERÂMICA		16 -61 %	760 A 2500	2 -S	2 -N

Notas : 1)* Condições anormais de operação conforme consumidor

2) S - Respostas recebidas N - Respostas não recebidas

Fonte : Respostas aos questionários do Anexo 1

TABELA - 13 - CUSTO DA CONVERSÃO AO GÁS NATURAL			
SETOR	US\$/M3	RESPOSTAS	
PAPEL E CELULOSE EMBALAGEM	0,12 A 0,73 0,76	3 - S	4 - N
ALIMENTOS E CONGÊNERES	0,35	1 - S	5 - N
VIDROS E CRISTAIS	----	0 - S	5 - N
CERÂMICA	0,35	2 - S	2 - N

Notas : 1)* Condições anormais de operação conforme consumidor

2) S - Respostas recebidas N - Respostas não recebidas

Fonte : Respostas aos questionários do Anexo 1

SETOR INDUSTRIAL	% DO CUSTO	RESPOSTAS	
		S - 5	N - 2
PAPEL CELULOSE E EMBALAGEM:			
PAPEL E CELULOSE	4 A 11%		
EMBALAGEM	< 1 A 1%		
ALIMENTOS E CONGÊNERES :		S - 4	N - 2
REFINO DE ÓLEO	1,4 %		
DOCES, BALAS E CONFEITOS	0,85 A 5%		
TORREF. DE CAFÉ	0,55 %		
VIDROS E CRISTAIS		S - 4	N - 1
VIDROS EM GERAL	4,6% A 7,6%		
VIDROS E CRISTAIS	16,5%		
VIDROS ESPECIAIS	3,2 A 7,5%		
CERÂMICA	9,5 A 28%	S - 4	N - 0

Notas : 1)* Condições anormais de operação conforme consumidor

2) S - Respostas recebidas N - Respostas não recebidas

Fonte : Respostas aos questionários do Anexo 1

Setores Industriais	Papel e Celulose		Alimentos		Vidros		Cerâmica		Total	
	S	N	S	N	S	N	S	N	S	N
Respostas										
Redução do consumo de energia em algum ponto linha de produção	2	5	3	3	1	4	0	4	5	17
Redução das emissões atmosféricas	7	0	6	0	4	1	1	3	18	4
Redução do custo de operação, manutenção e limpeza dos equipam.	6	1	4	2	4	1	2	2	16	6
Redução do desgaste dos equipam.	4	3	3	3	2	3	1	3	10	12
Adoção de sistema de recuperação ou regeneração de calor	1	6	1	5	1	4	0	4	3	19
Tecnologia de recuperação de calor nas caldeiras a gás	1	6	0	6	0	5	0	4	1	21
Planos para auto geração ou cogeração a gás.	2	5	0	6	0	5	0	4	2	20

Notas : 1)* Condições anormais de operação conforme consumidor

2) S - Respostas positivas N - Respostas negativas

Fonte : Respostas aos questionários do Anexo 1

TABELA -16 - QUESTÕES ESPECÍFICAS POR SETOR		
INDUSTRIAL		
SETOR INDUSTRIAL / TECNOLOGIA	SIM	NÃO
PAPEL E CELULOSE E EMBALAGEM		
Aplicação de tecnologia de secagem a ar quente ou irradiação de infravermelho a gás	3	4
Aplicação das tecnologias de combustão submersa, trocador imerso e/ou compacto	0	6
Ganho na automação ou controle e/ou auto controle das caldeiras	2	4
Aplicação de tecnologia de recuperação de calor nas caldeiras a gás	1	5
ALIMENTOS E CONGÊNERES		
Utilização de bombas de calor a gás para aquecimento, secagem, desumidificado ou compressão de vapor	0	5
Aplicação de tecnologia de fogo direto a gás, secagem pulsante a gás	1	4
Aplicação de nova tecnologia de evaporação	0	5
Aplicação de alguma tecnologia de recuperação de calor nas caldeiras a gás	1	4
VIDROS E CRISTAIS		
Utilização de alguma tecnologia de recuperação de calor dos gases efluentes	1	4
Aplicação de tecnologia de pré aquecimento da carga em meio fluidizado	0	5
Utilização de sistema de enriquecimento do ar de combustão com oxigênio	2	3
Adoção de sistema de pré aquecimento do ar de combustão	2	3
CERÂMICA		
Melhoria no isolamento dos fornos com novos revestimentos	1	3
Aplicação de paredes radiantes permeáveis	0	4
Instalação de novo sistema de recuperação de calor dos gases efluentes	0	4
Introdução de algum sistema de controle automatizado do ar de combustão, combustível e outros parâmetros	2	2

Notas : 1)* Condições anormais de operação conforme consumidor

2) S - Respostas positivas N - Respostas negativas

Fonte : Respostas aos questionários do Anexo 1

6 CONCLUSÕES

O aumento da utilização de gás natural previsto para a RMSP, conforme estimado para os próximos anos, resultará em uma redução expressiva das emissões de óxidos de enxofre, valor próximo de 94% do que seria emitido pelos combustíveis industriais que serão substituídos. Este número é bastante significativo, representando cerca de 13,2% do total emitido na região, correspondendo à retirada de mais de 13.000 t/ano de SO_x da RMSP.

Um fato esperado, é a redução das emissões de CO_2 próximo de 12% do que seria emitido pelo outros combustíveis deslocados pelo gás natural, o que é importante considerando que se refere a uma das maiores concentrações urbanas do mundo.

Com referência ao material particulado, um problema grave de poluição atmosférica na RMSP, com o consumo previsto de gás natural, haverá uma redução ao redor de 7,6% do total emitido pelas indústrias, o que reduzirá aproximadamente de 3,5% do total emitido na região; um resultado sempre interessante, considerando a criticidade do problema nesta região.

Quanto aos óxidos de nitrogênio, a redução será também importante, estimada entre 11 e 20% do total emitido pela indústria, o que se explica devido ao grande teor de nitrogênio dos óleos combustíveis nacionais. Esta redução só não é mais significativa devido ao grande volume emitido pelo setor de transporte a diesel (81,5%), com enorme presença na região.

Esta comparação reforça mais uma vez a idéia da necessidade de mudança de combustível em setores importantes do transporte; entretanto este fato não pode ser tomado como justificativa para a ausência de controle, pelos órgãos públicos, do NO_x de

origem industrial, que é o que se constata na RMSP.

Outro aspecto que deve ser analisado é a considerável geração de NO_x , pelo gás natural, o que poderá se tornar crítico no caso de geração termoelétrica a gás em regiões vizinhas de centros urbanos, o que exigirá aplicação de tecnologias específicas para a sua redução e iniciativas dos órgãos públicos e da sociedade em geral, no sentido de seu maior controle.

As reduções de CO (em torno de 4%) e de hidrocarbonetos e metano (próxima de 0,3%) são pouco significativas se comparadas com as emissões totais e as veiculares (quarenta vezes maior, em média).

A RMSP, como todas as grandes aglomerações urbanas, tem seus problemas de poluição atmosférica agravados predominantemente pelo trânsito. Porém isto não permite esquecer o problema da poluição industrial, que é importante, de difícil solução, dispendioso e sempre em conflito com os custos envolvidos e as solicitações da sociedade.

A análise da variação da eficiência energética tem seus limites, que se inicia por ser realizada em um universo ainda pequeno de consumidores e, se consideradas as variações de processo e de produtos, se torna menor ainda, não permitindo uma consideração estatística imediata.

Entretanto a presente investigação conclui pela possibilidade de aumento desta eficiência energética, que em alguns setores e seus segmentos poderá chegar ao redor de 30%; este número porém, deve ser encarado com cautela, considerando-se o segmento industrial, suas ramificações, os processos adotados, o "mix" de produtos e as tecnologias aplicadas na ocasião da conversão.

Conclui-se também que este aumento de eficiência não é mais generalizado por não existir, por parte das empresas consumidoras, a prática de uma política de uso racional

de energia; o que ficou constatado neste trabalho, ao se procurar as informações sobre consumo de energia e produção industrial correspondente.

Outro aspecto que se apresenta é a verificação de que a simples adaptação ao gás natural aos equipamentos e unidades produtivas anteriores não conduz imediatamente à economia de energia ou otimização dos produtos, sendo necessário a adoção de tecnologias apropriadas ao novo energético que não são generalizadas em nosso parque industrial. Uma pesquisa aprofundada sobre os equipamentos e tecnologias de que se dispõe no mercado nacional e internacional para estas utilizações seria de todo interesse para as partes envolvidas na indústria do gás natural, particularmente os consumidores.

Verifica-se a existência de um espaço considerável para se avançar na eficiência energética, já delineado pelos ganhos em operação, manutenção dos equipamentos e a existência de tecnologias otimizadoras, entretanto é muito importante uma política racional de preços relativos entre combustíveis que não eliminem esta oportunidade do gás natural.

Como pano de fundo desta investigação, no período de 1989 a 1995, a economia do país passou por uma fase de grandes oscilações e mudanças, da euforia à plena recessão, por mais de uma vez, ladeando uma reformulação tecnológica e gerencial bastante importante nas indústrias, o que deve ter afetado o seu desempenho normal, o que pode ter dificultado em parte a nossa investigação.

Enfim, constata-se uma redução das emissões industriais em geral, não mais significativa dado a grande presença das emissões veiculares e se vê a possibilidade de aumento da eficiência energética destes segmentos industriais na conversão ao gás natural, neste caso faltando a realização uma pesquisa mais aprofundada e ampla.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Technoplan. et ali. coord. SPG (Sociedade Privada do Gás). Bolívia - Brasil Integrate Gas Project Feasibility Study and Prospects for the Participation of the Private Sector. São Paulo, **Technoplan/SPG, 1993.**
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental . Relatório de Qualidade do ar no Estado de São Paulo - 1994/1995. São Paulo. **CETESB, 1996**
- EMPLASA - Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo. Sumário de Dados da Grande São Paulo - 1993. São Paulo, **EMPLASA, 1994.**
- EPA, Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emission Factors. v.1 : Stationary Point and Area Sources, 15^o ed. EPA Office of Air Quality Planning and Standards, **EPA, 1995**
- AGA, American Gas Association, Planning and Analysis Group. Industrial Sector Energy Consumption and Outlook for Natural Gas, E.U.A., **AGA., 1988a.**
- AGA. Energy International, Incorporated. Natural Gas Application for Industry, v.1, Food Industry, v. 3, Glass Industry. E.U.A., **AGA, 1988b.**
- MME, Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional, 1995. Brasília, Secretaria de Energia - **MME, 1995**
- G.D.F., Gaz de France, Direction des Services Economiques et Commerciaux. - Papier et Carton, 1988. Paris, Service Industriel, **GDF, 1988**
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Consumo Energético na Indústria Brasileira de Papel e Celulose, 1992, São Paulo. **IPT, 1992a**
- IPT - Consumo Energético na Indústria Brasileira de Vidro, Seminário CEE/ Brasil: Setores Industriais Intensivos em Energia, 1992. São Paulo, **IPT, 1992b**

- IPT - Conservação de Energia na Industria Cerâmica, Manual de Recomendações, São Paulo. Publicação IPT nº 1245, **IPT,1983**.
- COMGÁS, Companhia de Gás de São Paulo, Ação Comercial, Junho/1995. Publicação interna da Superintendência Comercial, 1995. São Paulo, **COMGÁS,1995**.
- Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Estado de Energia, Balanço Energético do Estado de São Paulo, Ano Base 1995, **SEE,1996**
- Staropoli, Rene, Gaz d'aujourd'hui, nº4, 1992, ATG- Association Technique de l'industrie du gaz en France, **ATG,1992**
- Anexo -1 - Questionários enviados às empresas consultadas, **Anexo 1,1996**

ANEXOS

Anexo - 1 - Questionários apresentados às empresas

ANEXO - 1/3

QUESTÕES GERAIS ÀS EMPRESAS

Com a conversão dos equipamentos ao gás natural, perguntamos:

1 - Houve redução de consumo de energia em algum ponto da linha de produção ?

2 - Que percentagem do custo final do produto representa o custo de energia consumida ?

3 - Houve redução de emissões atmosféricas (SO₃, NO₂, material particulado, etc) após a conversão ?

4 - Qual o custo resultante da conversão em US\$/m³ de gás natural, considerando a vazão de regime atual ?

5 - Houve redução no custo de operação, manutenção e limpeza dos equipamentos ? É possível avaliar ?

6 - Houve redução no desgaste dos equipamentos ? É possível dar um parâmetro de comparação ?

7 - Foi adotado algum sistema de recuperação ou regeneração de calor no processo de fabricação ?

8 - Foi adotado alguma tecnologia de recuperação de calor nas caldeiras a gás ?

9 - A empresa já realizou ou tem planos de auto geração ou cogeração com a utilização de gás natural ?

Nota : Em todas as questões caso afirmativo, descreva a situação.

ANEXO - 1/4

QUESTÕES ESPECÍFICAS AO SETOR DE PAPEL, CELULOSE E GRÁFICA.

Por ocasião da conversão ao gás natural, perguntamos :

1- Foram aplicadas tecnologias de secagem a ar quente, ou por irradiação de infravermelho a gás ?

2 - Foram aplicadas as tecnologias de combustão submersa, trocador imerso compacto ?

3 - Houve algum ganho na automação ou controle e/ou autocontrole das caldeiras ?

4 - Foi adotado alguma tecnologia de recuperação de calor nas caldeiras a gás ?

Obs. :

Nota : Em todas as questões, caso afirmativo descreva a situação.

QUESTÕES ESPECÍFICAS AO SETOR DE ALIMENTOS E CONGENERES.

Com a conversão dos equipamentos ao gás natural perguntamos:

1 - Foram utilizadas bombas de calor a gás para aquecimento, secagem, desumidificação ou compressão de vapor ?

2 - Foi aplicado alguma tecnologia de fogo direto a gás, secagem com combustão pulsante a gás ?

3 - Houve aplicação de alguma nova tecnologia de evaporação?

4 - Foi adotado alguma tecnologia de recuperação de calor nas caldeiras a gás ?

Obs.:

Nota : Em todas as questões, caso afirmativo descreva a situação.

QUESTÕES ESPECÍFICAS AO SETOR DE VIDROS E CRISTAIS

Por ocasião da conversão ao gás natural. perguntamos :

1 -Foi utilizado alguma tecnologia de recuperação de calor dos gases efluentes ?

2 - Foi utilizado alguma tecnologia de pré aquecimento da carga em leito fluidizado ?

3 - Foi adotado o sistema de enriquecimento do ar de combustão com oxigênio ?

4 - Foi utilizado na fundição do vidro o pré aquecimento do ar de combustão ?

Obs :

Nota : Em todas as questões, caso afirmativo descreva a situação.

ANEXO -1/7

QUESTÕES ESPECÍFICAS AO SETOR DE CERÂMICA

Com a conversão dos equipamentos ao gás natural, perguntamos :

1 - Houve melhoria no isolamento dos fornos com a utilização de outros tipos de revestimento ?

2 - Houve aplicação de paredes radiantes permeáveis ?

3 - Houve a instalação de algum novo sistema de recuperação de calor dos gases de efluentes ?

4 - Foi introduzido algum sistema de controle automatizado do ar de combustão e do combustível e outros parâmetros dos fornos ?

Obs.:

Nota :Em todas as questões, caso afirmativo, descreva a situação