

# **GÁS NATURAL: "Uma Análise Ambiental"**

**ORIENTADOR:**

**ANDRÉ FERREIRA**

**AUTOR:**

**ANTONIO SALOMÃO JUNIOR**

**MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO**

**CURSO ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL**

**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**UNIVERSIDADE DE CAMPINAS – UNICAMP**

**1998**

**ÍNDICE**

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
<b>2. GÁS NATURAL .....</b>	<b>03</b>
<b>2.1. Gasoduto Brasil – Bolívia .....</b>	<b>07</b>
<b>3. GERAÇÃO DE POLUENTES E SUAS CONSEQÜÊNCIAS .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1. Monóxido de Carbono .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2. Óxidos de Nitrogênio .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3. Ozônio .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4. Smog Fotoquímico .....</b>	<b>20</b>
<b>3.5. Chuva Ácida .....</b>	<b>20</b>
<b>4. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1. Legislação Ambiental Brasileira .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2. Legislação Ambiental Internacional .....</b>	<b>29</b>
<b>4.3. Análise da Legislação .....</b>	<b>32</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>34</b>

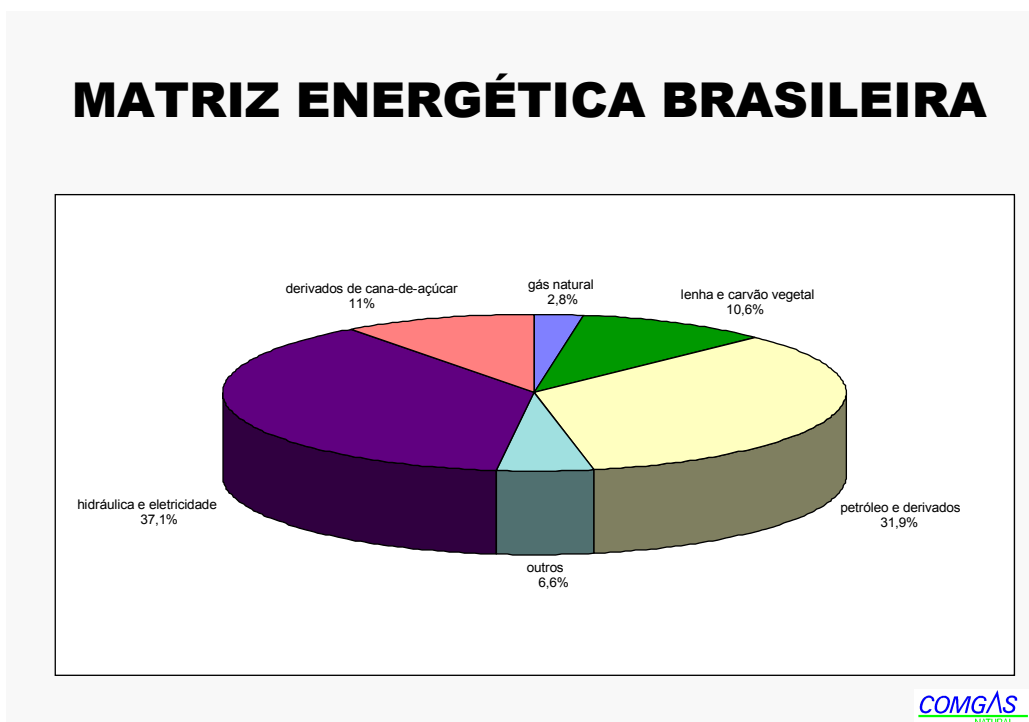
## 1. INTRODUÇÃO

A crise do setor energético gerada pelo crescimento do consumo nos grandes centros urbanos, principalmente no sul e sudeste do país e a sua perspectiva de escassez, tem levado o setor a buscar alternativas para esta crescente demanda.

O Gás Natural surge como uma das principais alternativas para suprir esta demanda, pois o Governo Federal pretende aumentar a participação do Gás Natural dos atuais 2,5 % para 11,8 % na matriz energética nacional no ano de 2010.

Hoje a grande parte da energia elétrica consumida no Brasil provém de hidrelétricas, representando 95 %, do total produzido no país e sendo apenas 5 % da oferta de energia elétrica vem de centrais térmicas.

**Fig.1** - Matriz Energética Brasileira



A construção de novas hidroelétricas para suprir a crescente demanda está ficando cada vez mais difícil e custosa devido as grandes distâncias entre os recursos hídricos disponíveis e os grandes centros consumidores, exigindo o transporte de grandes blocos de energia por redes de transmissão cada vez mais extensas e complexas e por outro lado à articulação da sociedade em torno das causas ambientais, os quais não admitem os impactos ambientais que são causados por empreendimentos deste tipo, à flora, à fauna, à qualidade das águas e seus usos, e as grandes áreas que são inundadas provocando a remoção de populações de localidades rurais e de áreas indígenas.

O uso do carvão como fonte importante de energia, exceto para a região Sul do Brasil, é descartado, pois o país possui poucas reservas e relativamente pobres, sendo quase todas concentradas Região Sul.

No caso do uso do petróleo, os maiores poços se encontram no mar, longe da costa. Apesar dos grandes progressos conseguidos na extração em águas profundas, o país ainda depende de importações. As desvantagens do petróleo e seus derivados como geradores de energia são o alto grau poluente e custos elevados.

A geração de energia elétrica por meio de usinas nucleares está descartada, por serem a mais cara, com alto grau de complexidade e risco ambiental.

A geração de energia a partir do gás natural, além de garantir o atendimento das necessidades crescentes, apresenta vantagens de ser um sistema modular que pode ser ampliado de acordo com as necessidades, ocupar áreas reduzidas em comparação com as hidrelétricas.

O Gás Natural vem sendo utilizado em vários países industrializados e no Brasil se prevê uma expansão de seu consumo principalmente devido à construção do gasoduto que transportará Gás Natural proveniente da Bolívia para as regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste do Brasil. Importação do Gás Natural boliviano contribuirá para elevar a oferta de energia nos Estados de maior consumo, tanto para geração de eletricidade quanto para uso industrial.

O Brasil produz cerca de 22 milhões de cúbicos de gás natural por dia, quase todo associado ao petróleo, sendo que aproximadamente a metade é reinjetada nos próprios poços ou é queimada. A outra metade é consumida, sobretudo no Nordeste e no eixo Rio – São Paulo.

Existem no Brasil, vários projetos em estudo e alguns em implantação de termelétrica as quais aumentaram ainda mais a demanda pelo gás natural. Existem ainda vários projetos em andamento para construção de gasodutos e também estudos de viabilidade para duplicar o gasoduto Brasil-Bolívia e está em análise a possibilidade de se construir um gasoduto com outro trajeto, partindo do sul da Bolívia, por Assunção, no Paraguai, e chegando ao Brasil pelos Estados Paraná ou Santa Catarina. Essas alternativas estão sendo analisadas principalmente em razão das descobertas de reservas de gás natural no sul da Bolívia pela Petrobrás perto de 300 bilhões de metros cúbicos.

As reservas brasileiras atuais somam 226 bilhões de metros cúbicos e o aumento da produção nacional no futuro, pode vir do aumento da demanda interna pelo produto.



milhões de m<sup>3</sup>/dia, até 2005, dos quais cerca de 45 milhões deverão ser utilizados por novas usinas termelétricas.

Em face destes enormes investimentos e o aumento da participação do Gás Natural na matriz energética, principalmente a sua utilização próxima aos grandes centros urbanos, que trará benefícios e também como qualquer outra fonte de energia poderá também afetar de maneira negativa o meio ambiente.

As variáveis ecológicas estão sendo consideradas como fator decisivo na tomada de decisões quanto da adoção ou não desse tipo de tecnologia para o Brasil, pois o consumo de qualquer forma de energia afeta, direto ou indiretamente, o meio ambiente.



## 2. GÁS NATURAL

O Gás Natural é uma mistura estável de gases, sendo ambientalmente mais atrativo que os outros combustíveis fósseis, hoje utilizados, pois é composta basicamente de metano (83 a 99%) - molécula composta por um átomo de carbono e quatro átomos de hidrogênio e diversos outros hidrocarbonetos gasosos que se encontram em reservatórios naturais localizado em jazidas subterrâneas.

O Gás Natural é algumas vezes, extraído em conjunto com o óleo, através de perfurações na crosta da Terra, trazido à superfície, ele é refinado para a remoção das impurezas, como água, outros gases e areia, sendo depois transportado através de grandes gasodutos, navios ou caminhões tanques.

**Tabela 1. - Composição do Gás Natural.**

Componente	Fórmula	Porcentagem Volumétrica (%)
Metano	CH <sub>4</sub>	89,35
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	8,03
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,78
Iso-Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,04
N-Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,03
Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,01
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0,48
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	1,28

Fonte: <http://www.Comgás.com.br/>

As principais características do Gás Natural são:

- Odor: o Gás Natural é inodoro e para que sua presença seja detectada em caso de vazamento, se adiciona um odorizante que confere a ele cheiro característico.
- Pressão: é distribuído nas instalações internas a uma pressão de 200 mmca (normalizada).
- Poder calorífico superior e inferior, gira em torno de aproximadamente 9000 a 12000 (kcal/Nm<sup>3</sup>) e 8500 a 10000 (Kcal/Nm<sup>3</sup>), respectivamente.
- Toxidez: o Gás Natural não é tóxico e se dissipa facilmente na atmosfera.

- Aspectos da chama: apresenta boa aparência, firmeza e uniformidade, tendo coloração azul.

O ponto de ebulição do Gás Natural é o mais baixo (162 °C) dentre os hidrocarbonetos, esta característica facilita o seu transporte, que através do processo de criogenia, reduz o seu volume em seiscentas vezes, podendo ser transportado por navios e caminhões tanques e também pode ser transportado à baixa pressão em pequenos fluxos de massa, como na distribuição do gás de rua ou a alta pressão para vazões elevadas e atingindo longas distâncias, como na distribuição por gasoduto.

Os impactos da utilização dos combustíveis fósseis pode ocorrer nos pontos de consumo como também poderão ocorrer durante a extração, o processamento, a conversão, o transporte ou a sua distribuição.

O gás natural é formado por gases combustíveis, que como subprodutos de sua combustão completa geram calor, dióxidos de carbono e vapor d'água. Quando comparado com a combustão do carvão e dos óleos combustíveis, que possuem estrutura molecular mais complexa, que produzem como subproduto de sua combustão, material particulado, dióxido de enxofre, além de calor e vapor d'água que são lançados para atmosfera.

## **2.1. Gasoduto Brasil – Bolívia**

O aumento da utilização do gás natural no Brasil depende de sua disponibilidade, que será facilitado com a construção de um gasoduto para transportar gás natural dos campos de Santa Cruz, na Bolívia central, até as cidades industrializadas no leste do Brasil, percorrendo uma extensão total de 3.157 km (1.973 milhas) dos quais 2.600 km (1.625 milhas) estão no Brasil e 557 km (348 milhas) na Bolívia.

O gasoduto Brasil-Bolívia foi projetado para transportar 30 milhões de normais

metros cúbicos por dia (MMNm<sup>3</sup>/dia) no trecho principal. O primeiro trecho do gasoduto principal sai da Bolívia, através de tubulações de 32 polegadas, dividindo-se em troncos de 24 polegadas, até atingir a refinaria de Paulínia próximo a Campinas (SP). Um tronco se dirigirá para o sul, para Porto Alegre (RS), o outro para leste, para Guararema (SP), onde se interligará com os gasodutos de Campos (RJ) e de Santos (SP).

Fig. 3 – Infra-estrutura do Gás Natural

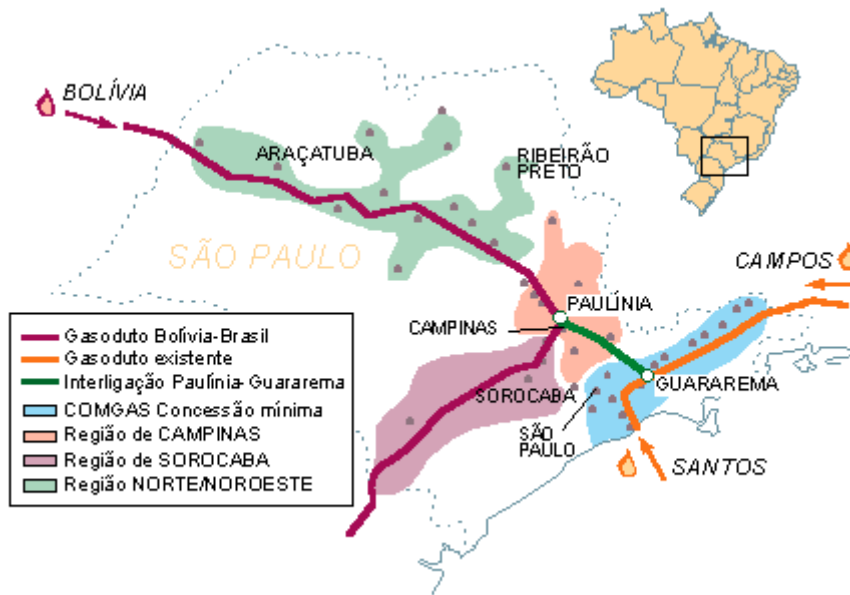


Fonte: [www.comgas.com.br](http://www.comgas.com.br)

A quantidade de gás transportada, de acordo com o contrato inicial, será de 8 milhões de m<sup>3</sup>/dia, devendo ser aumentada para 16 milhões de m<sup>3</sup>/dia em oito anos. Contudo, o contrato permite fornecimentos adicionais podem elevar o volume inicial para 22 milhões de m<sup>3</sup>/dia, e alcançar 30 milhões de m<sup>3</sup>/dia em oito anos.

Foram previstos, inicialmente, 37 citygates para a distribuição de gás ao longo do gasoduto: 14 no Estado de São Paulo; 3 no Mato Grosso do Sul; 5 no Estado do Rio Grande do Sul; 5 no Estado do Paraná e 10 em Santa Catarina.

**Fig. 4 – Distribuição do Gás Natural no Estado de São Paulo**



Em São Paulo, estão concluídos os citygates de Limeira, Jaguariúna, Itatiba, Guararema, Americana, Rio Claro, São Carlos, Araçatuba e Araraquara. Estão em construção os de Sumaré, Campinas, Itú e Guapiara e o trecho que segue para o sul do País.

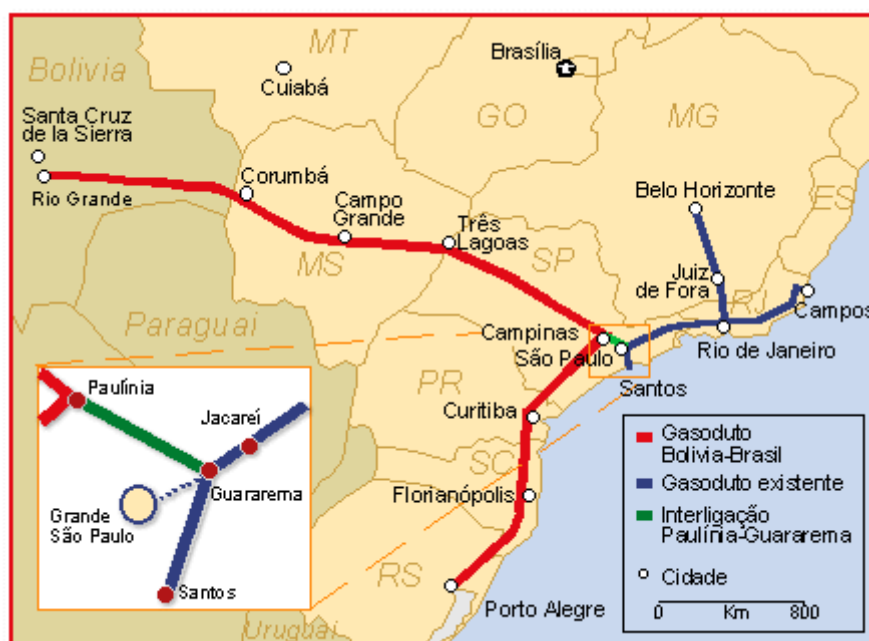
**Fig. 5 – Localização dos Citygates – Gasoduto Brasil – Bolívia.**



No Mato Grosso do Sul, também estão concluídos citygates previstos, localizados nas cidades de Corumbá, Campo Grande e Três Lagoas. Para o Rio Grande do Sul estavam previstas cinco, São Francisco de Paula, Sapiranga, Cachoeirinha e Canoas. No Paraná, dos cinco citygates previstos, somente o de Araucária deverá ser feito. Em Santa Catarina, nove citygates estarão localizados em: Joinville, Guaramirim, Blumenau, Brusque, Tijucas, São Pedro de Alcântara, Tubarão, Cocal do Sul e Nova Veneza. Em Joinville e Guaramirim estão em andamento os serviços de terraplanagem.

O segundo trecho que ligará Campinas (SP) e Porto Alegre (RS) custará aproximadamente R\$ 281 milhões.

**Fig. 6 - Região Ligada pelo Gasoduto Brasil – Bolívia**



**Fig. 7 - Principais Municípios Abastecidos pelo Gasoduto**



### **3. GERAÇÃO DE POLUENTES E SUAS CONSEQÜÊNCIAS**

A combustão do Gás Natural resulta em emissões menores de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) quando comparados aos outros combustíveis fósseis não renováveis e resulta também em não emissão atmosférica de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e material particulado, porém resultando em aumento na emissão de NO<sub>x</sub>.

As principais questões discutidas atualmente com relação à poluição do ar são a chuva ácida e os níveis de emissão de CO / Ozônio nos grandes centros urbanos.

Para se reduzir os altos níveis de ozônio nas áreas urbanas são necessários reduzir as emissões dos hidrocarbonetos reativos e algumas vezes as emissões de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>). O monóxido de carbono (CO), além de contribuir para a formação de ozônio, ele por si só é prejudicial à saúde. A discussão sobre chuva ácida tem enfoque centrado na redução das emissões de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e NO<sub>x</sub>. Todos estes poluentes são lançados na atmosfera pela combustão de algum combustível fóssil de fontes estacionárias tais como caldeiras industriais e plantas para geração de energia e por fontes móveis, como automóveis e outros veículos automotores.

O nível de poluição atmosférica é medido pela quantidade de substâncias poluentes presentes no ar. A variedade das substâncias que podem ser encontradas na atmosfera é muito grande, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. Para facilitar os poluentes são divididos em duas categorias: os poluentes primários e os poluentes secundários.

Os poluentes primários são aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão e



se apresentam em faixas de concentração relativamente estreitas:

- N<sub>2</sub> - 66 a 72%
- O<sub>2</sub> - 12 a 18%
- CO<sub>2</sub> - 1 a 5%
- H<sub>2</sub>O - 1 a 5%

Os poluentes secundários são aqueles formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera, sendo os mais problemáticos sob a óptica ambiental, apesar de estar presente em concentrações bem menores quando comparadas com as dos poluentes primários.

As faixas típicas de concentração desses poluentes gasosos são:

- Óxido Nítrico (NO) - 27 a 295 mg/Nm<sup>3</sup>
- Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>) - 4 a 41 mg/Nm<sup>3</sup>
- Monóxido de Carbono (CO) - 6 a 412 mg/Nm<sup>3</sup>
- Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) - Traços a 8 mg/Nm<sup>3</sup>
- Hidrocarbonetos não queimados - 4 a 216 mg/Nm<sup>3</sup>
- Material particulado (MP) - Traços a 25 mg/Nm<sup>3</sup>

A combustão do Gás Natural por mais “limpa” que seja gera como resultado final à produção de calor e emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), um dos gases de efeito estufa, o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e hidrocarbonetos (Hcs).

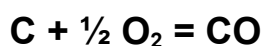
Estes poluentes, em conglomerados urbanos, recebem contribuições principalmente dos automóveis, que aumentam as concentrações de CO ao longo do dia. Os NO<sub>x</sub>

produzidos principalmente por motores a diesel que são precursores do ozônio (O<sub>3</sub>) troposférico, que é formado por efeito da luz solar e também são os responsáveis pelos processos de acidificação e os hidrocarbonetos são liberados pela evaporação dos combustíveis automotores.

### **3.1. MONÓXIDO DE CARBONO (CO):**

O monóxido de carbono é um gás incolor e inodoro, resulta da oxidação incompleta do carbono no processo de queima de combustíveis fósseis, principalmente dos veículos automotores.

A sua formação ocorre conforme a reação abaixo:



Este gás pode causar, dependendo da concentração presente na atmosfera, desconforto físico, náuseas, dores de cabeça, falhas na percepção visual, tontura e perda da concentração, alterações nas funções motoras e problemas cardiovasculares. Podendo também se ligar à hemoglobina no sangue substituindo o oxigênio, formando a carboxihemoglobina (COHb).

A afinidade da hemoglobina pelo CO é 210 vezes maior que pelo oxigênio. Cerca de 5 % de carboxihemoglobina no sangue provoca alterações nervosas e de comportamento, assim como alterações do miocárdio.

Em geral o efeito do CO sobre a saúde humana depende da porcentagem de carboxihemoglobina formada e do tempo de exposição, em ambiente fechados, nos casos de extrema exposição pode levar à morte.

Este gás contribui para aumento do aquecimento global da Terra, segundo alguns

cientistas, a Terra está se tornando cada vez mais quente, em virtude de gases e outros resíduos que estão sendo lançados na atmosfera. Segundo estudos do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), a temperatura aumentou entre 0,03 - 0,06 graus Celsius nos últimos 100 anos. Estes mesmos estudos também concluíram que as emissões oriundas das atividades humanas são responsáveis por parte deste aumento da temperatura.

Os principais gases responsáveis pelo chamado efeito estufa são vapor de água, gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), clorofluorcarbonos (CFCs) e óxido nitroso ( $\text{NO}_2$ ). O Metano, o componente principal do Gás Natural, foi identificado como sendo um dos possíveis contribuintes secundários para o aquecimento do clima global, mas devido a sua baixa taxa de emissão e concentração atmosférica, não vem causando impacto significativo no meio ambiente.

### **3.2. ÓXIDOS DE NITROGÊNIO ( $\text{NO}_x$ ):**

O termo  $\text{NO}_x$  representa a combinação do óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) e óxido nitroso ( $\text{NO}_2$ ), entretanto, o gás resultante do processo de combustão de combustíveis fósseis consiste basicamente de  $\text{NO}$  representando 90 a 95 % do total de  $\text{NO}_x$  devido à limitação cinética na oxidação do  $\text{NO}$  para  $\text{NO}_2$ .

Os óxidos de nitrogênio são formados no processo de combustão de três diferentes maneiras:

**1)** Através da queima do nitrogênio presente nos combustíveis fósseis ( $\text{NO}_x$  orgânico).

A formação do  $\text{NO}_x$  orgânico se dá a partir da oxidação do nitrogênio presente no próprio combustível e a ele quimicamente ligado. Este mecanismo é

particularmente importante na geração e emissão dos óxidos para os casos de queima de combustíveis com teores significativos de nitrogênio.

A sua formação depende principalmente das condições de combustão, tais como, concentração de oxigênio, padrões de mistura, e também da quantidade de oxigênio presente no combustível.

Os mecanismos que formam o NOx orgânico são muito mais complexos do que o modelo de Zeldovich. Alguns estudos indicam que esta formação ocorre em duas etapas separadas, sendo a primeira etapa da reação chamada de fase sólida da queima do nitrogênio, que é pouco conhecida, mas depende fundamentalmente da temperatura da chama, razão estequiométrica e das características da queima. A segunda etapa é a fase gás que inclui um número etapas intermediárias que ocorrem através de reações rápidas formando compostos intermediários (HCN, HOCN, NH<sub>2</sub>).

Esta fase é fortemente dependente da estequiometria da reação e da concentração do nitrogênio no combustível.

- 2)** Outro mecanismo bastante importante na formação destes compostos é o denominado NOx ativo, decorrente da oxidação do nitrogênio com os hidrocarbonetos de combustíveis.

Neste caso o NO é formado principalmente por uma seqüência de reações que se inicia pela rápida reação dos radicais hidrocarbônicos com o nitrogênio molecular, formando aminas ou cianocompostos que reagem subsequente para formar o NO.

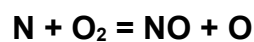
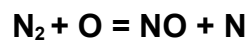
- 3)** Através da oxidação a alta temperatura do nitrogênio molecular do ar usado no processo de combustão, (NOx térmico).

A formação do NOx térmico depende da temperatura de combustão, que se

torna significativa acima de 1538 °C (2800 °F) aumentando exponencialmente com o aumento da temperatura (1).

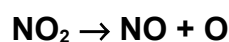
A fixação do nitrogênio atômico requer a quebra da forte ligação existente na molécula de N<sub>2</sub>, o que é normalmente atingido por elevadas temperaturas da chama, onde ambas as moléculas de N<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, presentes no ar de combustão são dissociados em seus respectivos estados atômicos N e O.

A reação subsequente destes átomos origina o NO<sub>x</sub> térmico, conforme mostra reação abaixo, denominada equação de Zeldovich:



Este mecanismo é considerado preponderante na formação destes óxidos e fortemente depende da temperatura de combustão, linearmente a concentração de oxigênio atômico e é independente do tipo de combustível.

Os óxidos de nitrogênio que se formam através de transformações fotoquímicas no meio ambiente, que levam à formação de ozônio (O<sub>3</sub>), principalmente através da ação dos raios ultravioletas, mais energéticos, que decompõem o NO<sub>2</sub> homoliticamente, isto é, ao lado do NO forma-se uma espécie de oxigênio, que é muito reativo.



Este processo fotoquímico é uma das principais fontes de geradora de ozônio, que também pode se formar pelo processo natural sob ação dos raios UV sobre o oxigênio atmosférico.

Na proximidade da superfície terrestre os gases de ação oxidante como o **ozônio** e os **óxidos de nitrogênio** são nocivos à saúde humana. O sintoma mais comum da

intoxicação são as chamadas metaemoglobinemia e os edemas pulmonares.

Na metaemoglobinemia, os óxidos de nitrogênio, que dentro da célula podem formar o íon nitrito, recebem o oxigênio da hemoglobina, formando nitrato. O íon  $\text{Fe}^{2+}$  da hemoglobina é oxidado a  $\text{Fe}^{3+}$ , perdendo sua capacidade de se ligar reversivelmente ao oxigênio, diminuindo a capacidade de transporte do oxigênio, causando a metaemoglobinemia ou cianose (por causa da coloração azulada dos lábios).

Nos edemas pulmonares, tanto o ozônio quanto os óxidos de nitrogênio por serem solúveis em gorduras, podem penetrar profundamente nos alvéolos e vasos capilares, tornando as suas paredes porosas, através da desnaturação das proteínas, com isto, os alvéolos são lentamente preenchidos com plasma proveniente dos vasos capilares, causando a morte por sufocação.

### **3.3. Ozônio**

O ozônio pode causar também congestão nasal, irritação da garganta, tosse, produção de secreção, dispnéia, chiado, dores de cabeça, fadiga e irritação dos olhos.

O ozônio é um oxidante fotoquímico que é o componente principal do “smog fotoquímico”, em conjunto com os hidrocarbonetos.

O Ozônio não é emitido diretamente na atmosfera, mas é formado por uma reação química bastante complexa entre hidrocarboneto insaturados e óxidos de nitrogênio na presença de luz solar.

Embora ozônio presente na camada superior da atmosfera é benéfico, pois protege Terra contra a radiação ultravioleta, o ozônio ao nível do solo pode ter impactos negativos tanto a saúdes como ao meio ambiente.

Exposição ao ozônio até mesmo a níveis relativamente baixos por curtos períodos de tempo pode afetar adversamente a função pulmonar de indivíduos saudáveis durante exercício e pode ser particularmente problemático a indivíduos com sistemas respiratórios prejudicados, como asmáticos.

### **3.4. Smog Fotoquímico**

Os aerossóis responsáveis pela formação do “smog fotoquímico” são originados pelos peroxicompostos e ozônio formados que atuam como iniciadores das polimerizações em cadeia dos hidrocarbonetos insaturados, este aumento da cadeia prossegue até que um detergente (ex. NO, NO<sub>2</sub>), ponha fim ao radical, gerando polímeros que formam juntamente com minúsculas gotas líquidas.

O “smog” pode causar problemas respiratórios em indivíduos saudáveis, bloqueia o

crescimento das plantas, pois prejudica o mecanismo da fotossíntese, através da destruição dos pigmentos fotossintéticos.

### **3.5. Chuva Ácida**

A combinação de óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos pode também levar a formação do ácido nítrico que é responsável pela chuva ácida. Convencionalmente, é considerada ácida a chuva que apresenta valores de pH menores que 5,6. Este valor expressa o equilíbrio químico estabelecido entre o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e atmosférico e sua forma ácida solúvel, íon bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), em água pura (2).

O fenômeno de chuva ácida indica claramente que a poluição de ar não é sempre um problema local, as fontes de emissões de  $\text{NO}_x$  podem estar localizadas centenas de quilômetros do local onde a geração ocorreu.

Pode causar acidificação de lagos provocando alterações na vida aquática, afetando também as florestas e causando danos à agricultura.

Nos grandes centros urbanos pode causar danos às estruturas dos edifícios, casa, corroendo as tubulações e os monumentos.



## **4. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL**

### **4.1. Legislação Ambiental Brasileira**

A legislação ambiental que tem com objetivo principal o de preservar a qualidade do ar atmosférico, estabelecendo padrões ambientais, que são classificados em padrões de qualidade e padrões de emissão.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, através da resolução CONAMA nº 05 de 15.06.89, instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR, que estabelece padrões brasileiros de qualidade do ar.

Os padrões de qualidade do ar são definidos como as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassados, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem estar da população, bem como ocasionar danos à flora e a fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Os padrões de qualidade do ar são classificados em padrões primários e secundários, de acordo com o dano que os principais poluentes gasosos (dióxido de enxofre, material particulado, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e ozônio) poderão causar.

Os padrões primários são as concentrações de poluentes que poderão afetar a saúde da população se forem ultrapassadas e os padrões secundários são concentrações abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre a população e o meio ambiente.

#### **Tabela 4.1 - Padrões de Qualidade do Ar**

Parâmetros	Tempo de Amostragem	Padrão ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (1)	
		Primário	Secundário
Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ )	24 horas	365	100
	MAA (3)	80	40
Partículas Totais em Suspensão	24 horas	240	150
	MGA (4)	80	60
Dióxido de Nitrogênio ( $\text{NO}_2$ )	1 hora (2)	320	190
	MAA (3)	100	100
Monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ )	1 hora (2)	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)
	8 horas (2)	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)
Ozônio	1 hora (2)	160	160

(1) Os valores de concentração são relativos a temp. de 25°C e p. atm. de 760 mmHg

(2) Valor que não deve ser excedido mais do que uma vez ao ano

(3) MAA = Média Aritmética Anual

(4) MGA = Média Geométrica Anual

Fonte: CETESB - Legislação Federal – CONAMA

A Resolução CONAMA n° 5 estabelece níveis de qualidade do ar para elaboração do Plano de Emergência para os Episódios Críticos de Poluição do Ar a fim de prevenir riscos graves e iminentes à saúde da população. Estabelece os Níveis de Atenção, Alerta e Emergência para as concentrações dos principais poluentes.

**Tabela 4.2 - Padrões de Qualidade do Ar para o Nível de Atenção**

<b>Parâmetros</b>	<b>Tempo de Amostragem</b>	<b>Padrão Primário (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) (1)</b>
Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ )	24 horas	800
Partículas Totais em Suspensão	24 horas	375
Dióxido de Nitrogênio ( $\text{NO}_2$ )	1 hora (2)	1130
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas (2)	17.000 (15 ppm)
Ozônio	1 hora (2)	400

(1) Os valores de concentração são relativos a temp. de 25°C e p. atm. de 760 mmHg

(2) Valor que não deve ser excedido mais do que uma vez ao ano

**Tabela 4.3 - Padrões de Qualidade do Ar para o Nível de Alerta**

<b>Parâmetros</b>	<b>Tempo de Amostragem</b>	<b>Padrão Primário (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) (1)</b>
Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ )	24 horas	1600
Partículas Totais em Suspensão	24 horas	625
Dióxido de Nitrogênio ( $\text{NO}_2$ )	1 hora (2)	2260
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas (2)	34.000 (30 ppm)
Ozônio	1 hora (2)	800

(1) Os valores de concentração são relativos a temp. de 25°C e p. atm. de 760 mmHg

(2) Valor que não deve ser excedido mais do que uma vez ao ano

**Tabela 4.4 - Padrões de Qualidade do Ar para o Nível de Emergência**

<b>Parâmetros</b>	<b>Tempo de Amostragem</b>	<b>Padrão Primário (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) (1)</b>
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	24 horas	2100
Partículas Totais em Suspensão	24 horas	875
Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	1 hora (2)	3000
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas (2)	46.000 (40 ppm)
Ozônio	1 hora (2)	1000

(1) Os valores de concentração são relativos a temp. de 25°C e p. atm. de 760 mmHg

(2) Valor que não deve ser excedido mais do que uma vez ao ano

Os primeiros Padrões de Emissões foram estabelecidos pelo CONAMA através da Resolução nº 008 de 06.12.90, que estabeleceu padrões de emissões para material particulado e dióxido de enxofre resultante da queima de óleo combustível e carvão mineral. Os limites máximos de emissão de outros combustíveis foram deixados a critério dos órgãos Estaduais de Meio Ambiente.

No Estado de São Paulo, os padrões de qualidade do ar foram instituídos pelo Regulamento da Lei nº 997 de 31.05.76, aprovado pelo Decreto nº 8468, de 08.09.76. Este Decreto estabeleceu os padrões de qualidade do ar para material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, oxidantes fotoquímicos e padrões de emissões atmosféricas para fumaça e material particulado.

**Tabela 4.5 - Padrões de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo**

<b>Parâmetros</b>	<b>Tempo de Amostragem</b>	<b>Padrão (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) (1)</b>
Dióxido de Enxofre ( $\text{SO}_2$ )	24 horas	365
	MAA (3)	80
Partículas Totais em Suspensão	24 horas	240
	MGA (4)	80
Dióxido de Nitrogênio ( $\text{NO}_2$ )	1 hora (2)	320
	MAA (3)	100
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora (2)	40.000 (35 ppm)
	8 horas (2)	10.000 (9 ppm)
Ozônio	1 hora (2)	160

(1) Os valores de concentração são relativos a temp. de 25°C e p. atm. de 760 mmHg

(2) Valor que não deve ser excedido mais do que uma vez ao ano

(3) MAA = Média Aritmética Anual

(4) MGA = Média Geométrica Anual

Para fumaça, o Artigo 31 estabelece que: Fica proibida a emissão de fumaça preta, por parte de fontes estacionárias, com densidade colorimétrica superior ao Padrão 1 da Escala de Ringelmann e também estabelece a proibição de emissão de substâncias odoríferas na atmosfera perceptíveis fora dos limites da propriedade da fonte de emissão (Art.33).

**Tabela 4.6 - Padrões de Emissão para Material Particulado no Estado de São Paulo**

<b>Atividade Industrial</b>	<b>Fontes de Emissão</b>	<b>Padrão de Emissão</b>
Indústria Siderúrgica	Conversor LD	100 mg/Nm <sup>3</sup>
Processamento de Rocha Fosfática <sup>(2)</sup>	Moagem	0,2 Kg/t processada
	Secagem	0,2 Kg/t processada
	Outras Fontes não especificadas	0,1 Kg/t processada
Produção de Fertilizantes Fosfatados	Superfosfato Granulado	1,5 Kg/t processada
	Superfosfato Não Granulado	1,5 Kg/t processada
Produção de Cimento	Secador, Moagem, Separador Ciclônico, Peneira Vibratória, Silos e Ensecadeiras	0,5 Kg/t processada
Produção de Sulfato de Cálcio	Secador, Calcinador	0,7 Kg/t processada
	Outras Fontes não específicas	0,05 Kg/t processada

(1) Tonelada Processada todas as substâncias adicionadas ao processo, exceto combustíveis.

(2) Os padrões não se aplicam às operações de recebimento, descarga, manuseio e armazenamento da rocha.

Fonte: CETESB, Legislação Estadual - Controle de Poluição Ambiental do Estado de São Paulo.

A Resolução CONAMA 008 de 06.12.90, que estabeleceu os padrões de emissões atmosféricas para processos de combustão das novas fontes estacionárias, incluindo caldeiras, fornos e geradores de vapor, com potências nominais até 70 MW e superiores, as classificou por potência e pela área a ser implantada (Classes Resolução CONAMA nº 5 de 15.06.89).

- Classe I: são as áreas que devem ser conservadas e preservadas atmosféricamente (Unidade de conservação com exceção das APA's, onde fica proibida, qualquer atividade econômica que gere poluição do ar).

- Classe II: são áreas onde o nível de deteriorização da qualidade do ar seja limitado pelo padrão secundário de qualidade do ar.
- Classe III: são áreas de desenvolvimento onde o nível de deteriorização da qualidade do ar seja limitado pelo padrão primário de qualidade do ar.

**Tabela 4.8 - Padrões de Emissão Atmosférico - CONAMA 08/90**

Tipo de Poluente	Áreas		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
<b>Abaixo de 70 MW</b>			
Particulados (g/MKcal)	120	350/1500	350/1500
Densidade Colorimétrica (escala Ringelmann)	n.l	n.l	n.l
Dióxido de Enxofre (g/MKcal)	2000	5000	5000
<b>Acima de 70 MW</b>			
Particulados (g/MKcal)	não	120/800	120/800
Densidade Colorimétrica (escala Ringelmann)	não	n.l	n.l
Dióxido de Enxofre (g/MKcal)	não	2000	2000

Fonte: CETESB: Legislação Estadual - Controle da Poluição Ambiental

## 4.2. Legislação Ambiental Internacional

A Legislação ambiental vigente nos Estados Unidos da América é definida pela agência ambiental, Environmental Protection Agency (EPA), que através do “Clean Air Act”, que foi aprovado em 1990, o qual permitiu a EPA determinar Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (National Ambient Air Quality Standards) para poluentes considerados danosos à saúde pública e ao meio ambiente.

O “Clean Air act” define dois tipos de padrões nacionais de qualidade, os padrões primários, que são estabelecidos a fim de proteger a saúde pública, incluindo as pessoas com saúde mais sensível, como os asmáticos, as crianças e os idosos.

Os padrões secundários definem as concentrações de máximas permitidas para os principais poluentes, de forma a proteger o bem estar público, incluindo proteção aos animais, vegetação e plantações e construções.

Estes padrões foram estabelecidos para 6 principais poluentes, que são chamados de poluentes críticos, que são mostrados na tabela abaixo.



**Tabela 4.9 - Padrão Nacional de Qualidade do Ar - EPA**

<b>POLUENTE</b>	<b>PADRÕES</b>		<b>TIPO DE PADRÃO</b>
<b>Monóxido de Carbono (CO)</b>			
Média 8 horas	9 ppm	(10 mg/m <sup>3</sup> )**	Primário
Média 1 hora	35 ppm	(40 mg/m <sup>3</sup> )**	Primário
<b>Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>)</b>			
Média Aritmética Anual	0.053 ppm	(100 µg/m <sup>3</sup> )**	Primário e Secundário
<b>Ozônio (O<sub>3</sub>)</b>			
Média 1 hora	0.12 ppm	(235 µg/m <sup>3</sup> )**	Primário e Secundário
Média 8 horas	0.08 ppm	(157 µg/m <sup>3</sup> )**	Primário e Secundário
<b>Chumbo (Pb)</b>			
Média Trimestral		1.5 µg/m <sup>3</sup>	Primário e Secundário
<b>Particulado &lt; 10 micrômetros (PM-10)</b>			
Média Aritmética Anual		50 µg/m <sup>3</sup>	Primário e Secundário
Média 24 horas		150 µg/m <sup>3</sup>	Primário e Secundário
<b>Particulado &lt; 2.5 micrômetros (PM-2.5)</b>			
Média Aritmética Anual		15 µg/m <sup>3</sup>	Primário e Secundário
Média 24 horas		65 µg/m <sup>3</sup>	Primário e Secundário
<b>Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)</b>			
Média Aritmética Anual	0.03 ppm	(80 µg/m <sup>3</sup> )**	Primário
Média 24 horas	0.14 ppm	(365 µg/m <sup>3</sup> )**	Primário
Média 3 horas	0.50 ppm	(1300 µg/m <sup>3</sup> )**	Secundário

A EPA já a nível estadual estabelece padrões de emissões para a queima de combustíveis gasosos (tabela 4.10).

Os padrões de emissões para a queima de combustíveis gasosos utilizados pela Comunidade Econômica Européia - CEE, definidos após sua unificação (Tabela 4.11), de forma a homogeneizar as ações de controle da poluição do ar, em face de proximidade dos países membros.

**Tabela 4.10 - Padrão de Emissão de Poluentes Atmosféricos - USA**

<b>Poluentes</b>	<b>Limites em mg/J</b>
Material Particulado	13
Dióxido de Enxofre	340
Óxido de Nitrogênio	86

**Fonte: EPA**

**Tabela 4.11 - Padrões de Emissão de Poluentes Atmosféricos - CEE**

<b>Poluentes</b>	<b>Limites de Emissão (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
Material Particulado	< 5 em geral < 10 para os gases de alto forno < 50 para os gases siderúrgicos
Dióxido de Enxofre	< 35 em geral < 100 para o gás de coqueria < 5 para o gás liquefeito
Óxido de Nitrogênio	< 100

**Fonte: EuroGas**

### **4.3. Análise da Legislação Ambiental**

A Resolução nº 008, que estabeleceu padrões de emissões, não fixou valores para poluentes resultantes da queima do gás natural, tais como, NOx e CO, somente definiu padrões para material particulado, dióxido de enxofre e fumaça preta, mas eram os poluentes de maior preocupação de acordo com a matriz energética utilizada no País.

A legislação ambiental em vigor no país é qualificada como restritiva quando analisada sob a perspectiva sócio-ambiental e quando comparada com os respectivos padrões de emissão vigentes nos EUA ou na Europa (tabela 4.12), estes se mostram menos restritivos.

Na Tabela 4.12, foram comparados padrões de emissão vigentes no Brasil, nos EUA ou na Europa, para que esta tabela fosse gerada e os padrões comparados foram efetuados as devidas conversões para as unidades de medida padrão utilizada no Brasil.

**Tabela 4.12 - Padrões de Emissão Vigentes Brasil, USA e CEE.**

Poluentes/ Países	mg/Nm <sup>3</sup> (3% O <sub>2</sub> ) <sup>(4)</sup>	mg/Nm <sup>3</sup> (1% O <sub>2</sub> ) <sup>(5)</sup>	Pot. Nominal (MW)
<b>1. Material Particulado</b>			
Brasil	107	118	> 70
	312	343	<70
USA	48	53	> 73
	160	176	<73
CEE	(50)	55	> 50
<b>2. Óxidos de Enxofre (como SO<sub>2</sub>)</b>			
Brasil	1782	1960	> 70
	4455	4901	< 70
USA	1269	1396	> 73
CEE	(400)	440	P > 500
	440 a 1700	440 a 1870	300 < P < 500
	(1700)	1870	50 < P < 300
<b>3. Óxidos de Nitrogênio (como NO<sub>2</sub>)</b>			
Brasil	----	----	> 70
USA	485	533	> 73
CEE	(450)	495	> 50

(1) Os padrões aplicáveis às novas fontes e em vigor desde: Br. - 06.12.90, USA - 17.08.71 (exceção material particulado em termelétrica - 18.09.78) e CEE - 01/07/87.

(2) Os valores entre parênteses são os constantes nas respectivas legislações, sendo os demais decorrentes; na conversão de unidades foi adotado: PCS 9800 Kcal/kg; volume total de gases secos iguais a 10 e 11 Nm<sup>3</sup>/kg comb. para 1% e 3% de O<sub>2</sub> nos gases, respectivamente.

(3) g/10<sup>6</sup> Kcal e mg/J: referidos a potência fornecida à unidade, base PCS.

(4) mg/Nm<sup>3</sup>, 0 °C e 760 mmHg, gás seco com 3% O<sub>2</sub> em volume.

(5) mg/Nm<sup>3</sup>, 0 °C e 760 mmHg, gás seco com 1% O<sub>2</sub> em volume.

## 5. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

A mudança da matriz energética trará alterações significativas na forma da CETESB realizar o controle e a fiscalização das fontes potenciais poluição ambiental. Os poluentes hoje considerados prioritários sofrerão abatimentos significativos como é o caso do dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e material particulado a nível global e também poderá resultar em emissões menores de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), porém outros poluentes, sofrerão um aumento significativo de suas emissões principalmente os óxidos de nitrogênio (NOx) e conseqüentemente o ozônio, quando comparados com a queima de outros combustíveis fósseis não renováveis.

A evolução das emissões de NOx, principalmente nos grandes centros urbanos, deverão ser acompanhadas e as metodologias de controle aprimoradas, pois, o NOx é um dos precursores da formação do ozônio (O<sub>3</sub>) troposférico, responsável pelos processos de acidificação (ocorrência da chuva ácida) e do fenômeno do “smog” fotoquímico, que são as principais questões, relativas a poluição atmosférica, discutidas nos países industrializados.

Com relação à legislação ambiental vigente, a Resolução CONAMA 03/90 define padrões de qualidade do ar e os padrões de emissão são definidos pela Resolução CONAMA 08/90, que estabelece padrões de emissões atmosféricas para poluentes gerados nos processos de combustão de fontes estacionárias, incluindo caldeiras, fornos e geradores de vapor, mas não contemplando os poluentes gerados pela combustão do Gás Natural, não fixando valores máximos de emissão para o NOx e o CO.

A Legislação Estadual de São Paulo através do Regulamento da Lei nº 997 de 31.05.76, aprovado pelo Decreto nº 8468, de 08.09.76, também não define padrões de emissão para NOx e o CO, entretanto, faculta ao órgão ambiental, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, definir novos padrões de emissão ou solicitar a melhor tecnologia de controle disponível para as fontes de emissão.

A sistemática de controle da poluição atmosférica, deverá utilizar conjuntamente os padrões de emissão e os padrões de qualidade, considerando a carga poluidora total e capacidade de assimilação do meio e não somente as concentrações de poluentes (ppm ou mg substância/Nm<sup>3</sup>), respeitando principalmente as características regionais.

A legislação ambiental e os sistemas de controle de poluição nacional e estadual deverão ser adequados para controlar o impacto ambiental que poderá ser causado a partir do aumento da oferta de Gás Natural, com a implementação das termelétricas e sua utilização em massa pelas indústrias, consumidores domésticos e em veículos automotores que se concentram nos grandes centros urbanos.

Os programas de conservação de energia terão papel fundamental na melhoria da qualidade ambiental, procurando reduzir os impactos ambientais associados às formas de energia convencionais e/ou renováveis utilizadas.

O Gás Natural pode ser considerado um combustível menos poluente, mas os subprodutos de sua combustão, principalmente o CO e NOx devem ser monitorados e os padrões de emissão e qualidade devem ser definidos, de forma a respeitar a capacidade de suporte da região e garantindo o bem estar da população.

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

1. Environmental Protection Agency - EPA, **NOx Control Technology Data**, Control Technology Center, Washington, julho, 1991.
2. Lora, E.S., **Poluição Industrial - Gerenciamento e Tecnologias Modernas de Controle**, Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Campinas, 1996.
3. Telles, L. H. E., **Impactos da Conversão de Indústrias ao Gás Natural na Região Metropolitana de São Paulo**, Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
4. Macem Engenharia S/A. Eletropaulo - Eletricidade de São Paulo S/A. **Usina Termelétrica Piratininga Unidades 5 e 6**. São Paulo - S. P., 1997. (V1 - V4 - EIA) (V5 - RIMA).
5. Almeida, E., Fergie, J. E Martins, M., **Energia Elétrica: O Impacto do Marco Regulador**, Revista Conjuntura Econômica, pg. 22 - 28, fevereiro, 1997.
6. Poulallion, P., **Gás Natural em Sinuca**, Revista Conjuntura Econômica, pg. 29 - 32, fevereiro, 1997.
7. World Bank Group, **Pollution Prevention and Abatement Handbook Part III: Nitrogen Oxides Pollution Prevention and Control**. Setembro, 1997.
8. Dr<sup>a</sup> Fernícola, N. A., **Pesquisa Bibliográfica Sobre os Efeitos de Poluentes Específicos: Óxidos de Nitrogênio (NOx)**, CETESB, julho, 1979.
9. Gallo, W. L. R., **Políticas Energéticas**, Curso de Especialização em Gestão Ambiental - Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Campinas, setembro, 1998.
10. Comgás, **O Gás Natural**, site: <http://www.comgás.com.br/gaso1.htm>.

11. Fellenberg, G., **Introdução aos Problemas da Poluição Ambiental**, EPU - USP, 1990.
12. Revista Brasil Energia, **Gasoduto Brasil Bolívia: A Grande Obra**, Editora Brasil Energia Ltda., nº 210, Maio, 1998.
13. Petro & Química, **A Situação do Gasbol**, Revista Petro & Química, Maio/Junho, 1998.
14. EuroGas, **Natural Gas: A Cleaner Energy For A Greener Europe**, The European Union of the Natural Gas Industry, 1998.
15. Legislação Federal: **Controle da Poluição Ambiental**, (atualizado até jul. 1990). - São Paulo: CETESB, 1990. 249 p. - Série Documentos/ Secretaria do Meio Ambiente.
16. Legislação Estadual: **Controle da Poluição Ambiental**, (atualizado até dezembro, 1998). - São Paulo: CETESB, 1999. 498 p. - Série Documentos/ Secretaria do Meio Ambiente.
17. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções do CONAMA**, 1984/91. 4. Ed. Rev. e Aum. Brasília, IBAMA, 1992.