

**Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP**

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*.

Resumo

O presente artigo apresenta o conceito de poluição, a questão ambiental relacionada à combustão de combustíveis fósseis, o gás natural e suas principais aplicações, a descrição das fontes poluidoras atmosféricas e seus principais efeitos, um comparativo das emissões do gás natural versus outros combustíveis fósseis por aplicação e, finalmente, considerações finais e tendências.

Abstract

This paper presents the concept of pollution, the environmental issue related to the burning of fossil fuels, the natural gas and its main uses, the description of the sources of atmospheric pollution and its most important effects, a comparison of natural gas against other fossil fuels emissions by segment and, finally, last considerations and future tendencies.

1. Introdução

A utilização do gás natural nas mais diversas aplicações vem apresentando crescimento elevado nos últimos anos em vários países. Especificamente no Brasil, passou de 2,7% em 1987 para 8,9% da oferta interna de energia em 2004, segundo dados do Balanço Energético Nacional 2005 do Ministério de Minas e Energia. Em 2004, o volume de gás disponível para venda, nacional e importado, aumentou 23%, alcançando 37,7 milhões de m³/dia, incluído o consumo de 7,2 milhões de m³/dia em termelétricas, conforme dados da Petrobras (PETROBRAS, 2005).

Por outro lado, o mundo tem a necessidade de encontrar alternativas aos combustíveis fósseis derivados do petróleo e atender aos padrões de qualidade ambiental. Com o Protocolo de Kyoto, vários países vêm estimulando o emprego de combustíveis mais limpos visando à redução as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera e à promoção de um desenvolvimento sustentável.

Consoante com o exposto acima, o gás natural é uma tendência mundial como um combustível (vetor de transição) na busca por fontes mais limpas, especialmente pela dificuldade de competitividade econômica das tecnologias alternativas que não utilizem o carbono.

2. Definição de Poluição

Etimologicamente, poluir - do latim polluere - "é o mesmo que estragar, sujar, corromper, profanar, macular, contaminar".

¹ **Mestrando PPE/COPPE/UFRJ, Engenheiro Eletricista – PETROBRAS/Gás&Energia-MC/DEMERC/Coordenador de Desenvolvimento de Mercado**

A Lei nº 6.938/81, que institui a Política Nacional do Meio Ambiente, em seu art. 3º, inc. III, define a poluição como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente a) prejudiquem a saúde; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente e/ou e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

A mesma lei, no inc. IV do art. 3º, define poluidor como a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental.

2.1 Combustão e Meio Ambiente

Os combustíveis derivados do petróleo são constituídos basicamente por 3 elementos: carbono, hidrogênio e enxofre. E para a queima desses combustíveis é necessária a participação de oxigênio, geralmente fornecido pelo ar atmosférico que apresenta a seguinte composição volumétrica:

- oxigênio = 20,9%
- nitrogênio = 78,1%
- argônio = 0,9%
- outros = 0,1% (ar seco, ao nível do mar)

A combustão dos derivados de petróleo pode ser sintetizada pelas seguintes reações:

Tabela 1 – Reações na combustão de derivados de petróleo

C	+	$\frac{1}{2} O_2$	=>	CO	CO	+	$\frac{1}{2} O_2$	=>	CO ₂
H ₂	+	$\frac{1}{2} O_2$	=>	H ₂ O					
S	+	OX	=>	SOX					
N	+	OX	=>	NOX	(o N ₂ pode vir do ar atmosférico ou do combustível)				

As condições ideais da combustão são aquelas em que o excesso de ar de combustão é o mínimo necessário para garantir a queima completa do combustível. Assim, a eficiência de combustão é maximizada, reduzindo a formação dos produtos da combustão: CO₂, H₂O, SOX e NOX.

3. Principais Aplicações Para o Gás Natural

O gás natural é usado como combustível para fornecimento de calor, geração de eletricidade e de força motriz; e como matéria-prima nas indústrias siderúrgica, química, petroquímica e de fertilizantes. Na área de transportes, é utilizado como substituto do óleo diesel, gasolina e álcool. A seguir são apresentados em detalhes os diversos segmentos de mercado do Gás Natural.

3.1. Industrial

Utilizado como combustível, o gás natural proporciona uma combustão limpa, isenta de agentes poluidores, ideal para processos que exigem a queima em contato direto com o produto final, como, por exemplo, a indústria de cerâmica e a de fabricação de vidro e cimento. O gás natural também pode ser utilizado como redutor siderúrgico na fabricação de aço e, de formas variadas, como matéria-prima: na indústria petroquímica, principalmente para a produção de metanol, e na indústria de fertilizantes para a produção de amônia e uréia.

3.2. Veicular

No uso em automóveis, ônibus e caminhões, o gás natural recebe o nome de “gás natural veicular – GNV”. Como é seco, o gás natural não provoca resíduos de carbono nas partes internas do motor, aumentando sua vida útil e o intervalo de troca de óleo, além de reduzir significativamente os custos de manutenção. Mais leve que o ar, em caso de vazamento, o gás se dissipa na atmosfera, reduzindo o risco de explosão e incêndio. Do ponto de vista ambiental, o GNV é considerado um combustível ecológico pelo fato de emitir menos poluentes que os demais concorrentes.

3.3. Comercial e Residencial

O gás natural pode ser usado nas mais variáveis aplicações, especificamente no setor residencial, não só em chuveiros e fogões, mas também em saunas, aquecedores de piscina, lavadoras/secadoras de roupa, sistemas de refrigeração, lareiras, aquecedores de ambiente e até em churrasqueiras. Para o setor comercial, o gás natural pode ser usado para climatização de ambientes, produção de água quente e cocção. Por isso, a variedade de usuários abrange desde hotéis a restaurantes, passando por hospitais, creches, lavanderias e escolas.

Alguns edifícios comerciais de médio e grande porte, como shopping centers, hospitais e universidades, também podem adotar o ar condicionado central a gás natural. Por fim, estas mesmas instalações podem ainda se tornar completamente auto-suficientes em termos de energia (elétrica e térmica) a partir de sistemas de co-geração que serão tratados no próximo subitem.

3.4. Geração de Energia Elétrica (Termoelétrica, Distribuída e Co-geração).

A disponibilidade de gás natural favorece seu uso para a geração de energia elétrica, co-geração e refrigeração em processos complementares às demandas energéticas das indústrias, residências e estabelecimentos comerciais. Em algumas situações, a geração distribuída de energia pode representar não apenas "energia complementar", mas sim a fonte única para suprir as demandas dos segmentos mencionados.

A partir dos anos 90, ocorreu uma grande transformação nos processos de geração de eletricidade. Grandes termelétricas operadas a gás natural foram construídas para adaptar o segmento a regulamentações ambientais cada vez mais rigorosas e suprir a demanda nacional. O gás natural pode substituir o óleo, lenha, energia nuclear, entre outros, utilizando turbinas para gerar eletricidade. Em determinados casos, utiliza-se a geração simultânea de energia e calor, processo conhecido como co-geração. Menos poluente e mais eficiente que os demais combustíveis fósseis, o gás natural ganha cada vez mais espaço no setor elétrico.

4. Fontes Poluidoras Atmosféricas e Principais Efeitos

No caso das fontes estacionárias, a nível nacional, destacam-se pelas suas emissões as Unidades Industriais e de Produção de Energia como a geração de energia termelétrica, as refinarias, as fábricas de pasta de papel, a siderurgia, as cimenteiras e a indústria química e de adubos.

No caso das fontes móveis, sobretudo os transportes rodoviários, elas são uma fonte importante de poluentes, essencialmente devido às emissões dos gases de escape, mas também como resultado da evaporação de combustíveis. São os principais emissores de NOx e CO, importantes emissores de CO2 e de hidrocarbonetos, além de serem responsáveis pela emissão de poluentes específicos como o chumbo.

4.1. Efeito Estufa

Em longo prazo, a Terra deve irradiar energia para o espaço na mesma proporção em que absorve do Sol. A temperatura da troposfera é pouco afetada pela radiação solar direta, a que é relativamente transparente, aquecendo, sobretudo como resultado da absorção das radiações de grande comprimento de onda emitidas pela superfície terrestre. A absorção da radiação terrestre é efetuada por diversos compostos, com destaque para o vapor d'água e CO2, mas também o CH4, Ozônio, NOx e os CFC. Estes funcionam assim como os vidros de uma estufa, deixando passar a radiação solar que aquece o solo e retendo a radiação terrestre. É por esta razão que o acréscimo na concentração destes poluentes poderá ter como reflexo o aumento da temperatura do ar. O aumento da temperatura do globo terá como conseqüências prováveis o aumento das áreas desérticas bem como o degelo das calotas polares com a conseqüente subida do nível das águas dos oceanos.

Registraram-se nos últimos anos aumentos da concentração atmosférica de CO2, numa amplitude que ultrapassa as oscilações do último milhar de anos e cujas principais causas são o aumento de uso de combustíveis fósseis e o desmatamento das florestas.

O reconhecimento por parte da Comunidade Internacional da grande importância da estabilização dos gases de efeito estufa a níveis que não afetem o sistema climático global levou à adoção da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas, que entrou em vigor em 21 de Março de 1994.

A seguir tabela com os principais gases que causam o efeito estufa e a sua intensidade, tendo como referência o CO₂.

Tabela 2 – Relativo impacto dos gases de efeito estufa em relação ao CO₂

Greenhouse Gas	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC-23
	carbon dioxide	methane	nitrous oxide	hydrofluoro-carbon-23
Global Warming Potential (GWP)	1	21	310	11,700
GWP: an index used to translate the level of emissions of various gases into a common measure in order to compare the relative impact on the environment. GWPs are calculated as the ration to one tonne of CO ₂ . (source: UNFCCC)				

4.2.Redução da Camada de Ozônio

A presença do ozônio na estratosfera (entre 20 e 40 km de altitude) funciona como uma barreira para a radiação ultravioleta, tornando-se assim essencial para a manutenção da vida na superfície terrestre. Desde os anos 70, tem-se medido a redução da concentração de ozônio em locais específicos da atmosfera ("buracos do ozônio" nas regiões Antártica e Ártica) e de uma forma geral em todo o planeta.

É reconhecido que as emissões de certas substâncias em escala mundial, entre as quais se contam os hidrocarbonetos clorofluorados (CFC's) e os Halons, podem deteriorar a camada de ozônio, de modo a existir risco de efeitos nocivos para a saúde do homem e para o ambiente em geral. Atentos a esta problemática, mais de cem países já ratificaram a Convenção de Viena para a proteção da camada de ozônio e o Protocolo de Montreal sobre as substâncias que deterioram a camada de ozônio. Este protocolo estabelece o controle da produção e consumo de cerca de 90 substâncias regulamentadas.

4.3.Chuva Ácida

Poluentes como o SO₂ e o NO_x são os principais responsáveis pelo problema da acidificação. Em contato com a água transformam-se respectivamente em ácidos sulfúrico e nítrico, os quais dissolvidos na chuva e na neve atingem o solo sob a forma de sulfatos (SO₄²⁻), nitratos (NO₃⁻) e íons de Hidrogênio (H⁺) - deposição úmida. No entanto, o SO₂ e os NO_x podem ser depositados diretamente no solo ou nas folhas das plantas como gases ou associados a poeiras - deposição seca. A acidez é dada pela concentração de (H⁺) libertados pelos ácidos e é normalmente indicada pelos valores de pH.

5. Emissões Atmosféricas Comparativas - Gás Natural X Outros Combustíveis

Se comparado aos óleos combustíveis, carvão, lenha, gás liquefeito de petróleo (GLP) e outros derivados de petróleo, o gás natural é o combustível de origem fóssil que tem o menor impacto sobre o meio ambiente e o que gera menos resíduos e emissões.

Cabe destacar, todavia, que a combustão do gás natural é fonte de emissão do CO₂, CO, NO_x, N₂O, SO_x, entre outros, só que num nível menor que quando comparado com os demais combustíveis fósseis. Os gráficos a seguir ilustram bem esta questão:

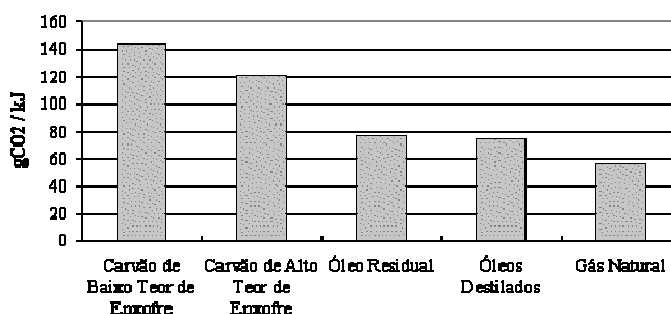


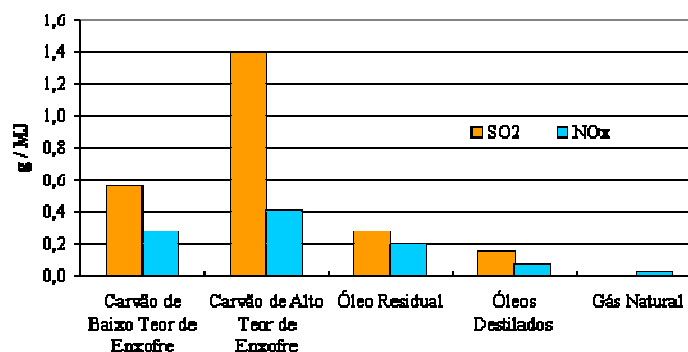
Figura 1– Emissão de gCO₂/KJ

Figura 2– Emissão de g/MJ

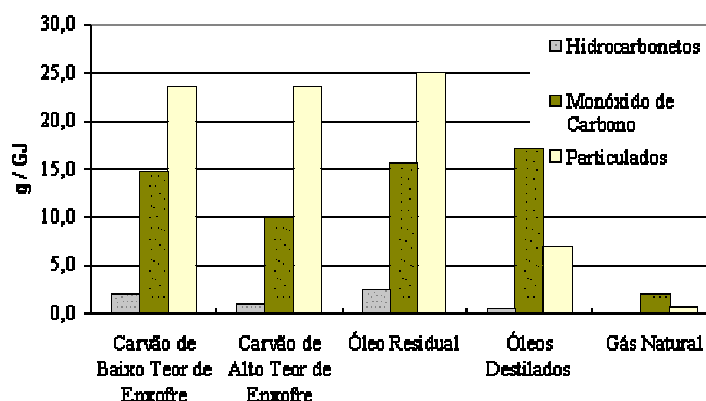


Figura 3– Emissão g/GJ

4.4. Emissões do Gás Natural Comparativa no Segmento Industrial

No segmento industrial, cresce a importância da utilização do gás natural em maior escala. Suas vantagens tecnológicas, de segurança e, principalmente, ambientais fazem do gás natural a melhor alternativa na melhoria da qualidade do ar e na colaboração para a diminuição da emissão de gases que causam o efeito estufa. Isso vem proporcionando grande facilidade na obtenção dos certificados de qualidade ambiental pelas indústrias.

Na indústria, além de reduzir os custos operacionais, o que evita gastos com manutenção e compra de equipamentos antipoluição, pode ser útil na geração de vapor, co-geração de energia elétrica e na climatização (ar quente ou frio).

Sem dúvida, o gás natural é uma das melhores alternativas na resolução de problemas relacionados às mudanças climáticas, especialmente em um momento em que as dificuldades econômicas são uma barreira considerável à viabilização de tecnologias alternativas que não utilizem o carbono.

A redução de emissões com o gás natural é evidente, basta comparar as fontes de energia em uma mesma planta.

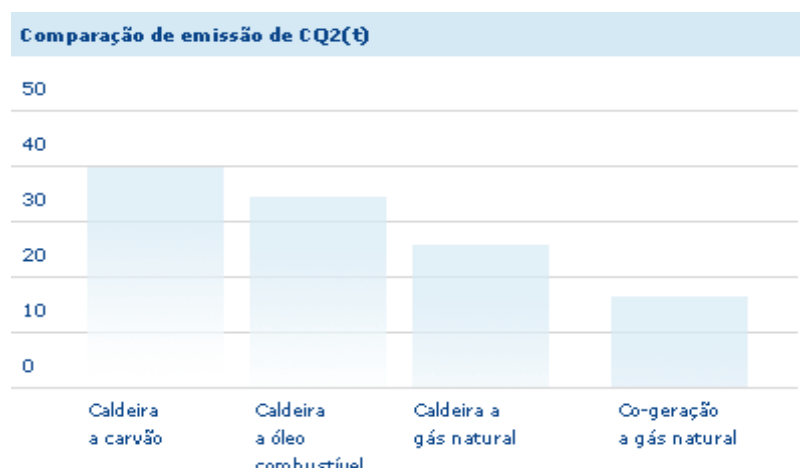


Figura 4– Comparação de emissão de CO₂(T) em caldeiras por combustível

Tabela 3 – Emissões de poluentes para caldeiras industriais

Emissões de poluentes para caldeiras industriais

emissão (g / kWh)	gás natural	óleo diesel	óleo pesado	carvão
NOx	0,22	0,26	0,79	0,78
CO ₂	255	310,5	333	410
Particulados	0	baixo	médio	alto
SO ₂	0	0,59	5,27	5,14
Enxofre	0	0,3% no combustível	2,5% no combustível	2,0% no combustível

4.5.Emissões do Gás Natural Comparativa no Segmento Veicular

Desde 1998, quando as conversões tomaram impulso, as vendas de GNV vêm aumentando em média 35% ao ano e o consumo no ano passado foi de 1,930 bilhão de m³. Com isso, o gás natural já representa 8,9% da matriz energética nacional, tendo o GNV respondido por 13% deste consumo no ano passado.

Na questão emissões o gás natural apresenta grandes vantagens comparativamente aos outros combustíveis, conforme pode ser verificado nos gráficos a seguir:

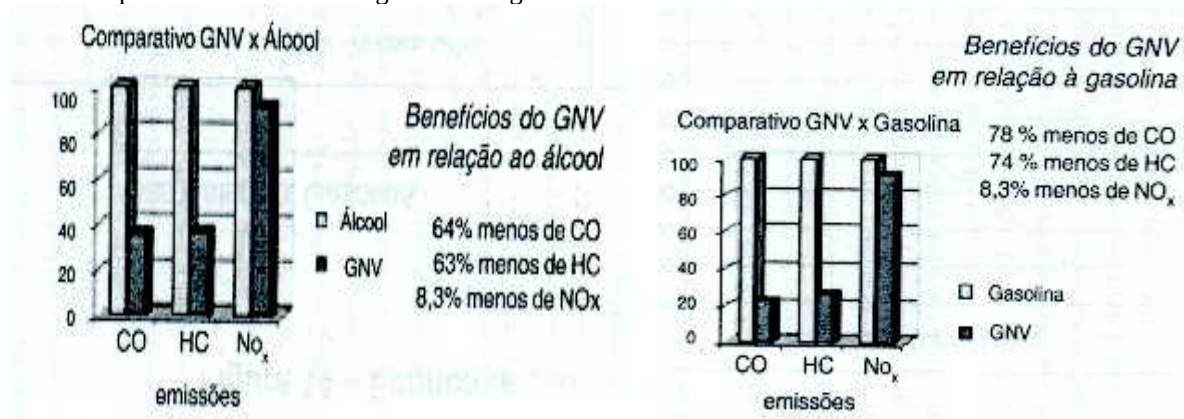


Figura 5 - Comparação de emissões GNV x Alcool e GNV x Gasolina

Por fim, cabe destacar a aplicação do GNO (Gás Natural para ônibus) que vem a ser uma alternativa atraente no sentido de minimizar os efeitos da poluição atmosférica, principalmente nas grandes cidades. O gráfico a seguir ilustra bem a vantagem do gás natural frente ao diesel.

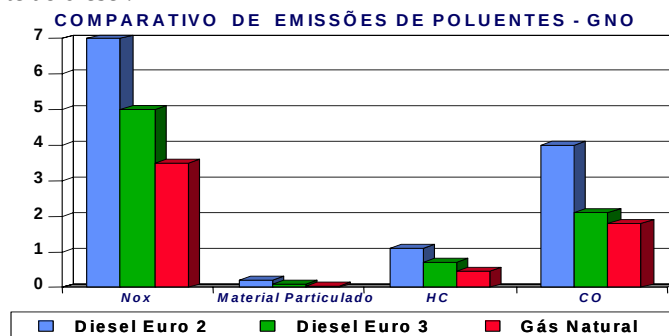


Figura 6– Comparativo de emissões GNO x Diesel

5.3. Emissões do Gás Natural Comparativa no Segmento Comercial/Residencial

O Gás Natural além da contribuição para a preservação do meio ambiente, também colabora com a melhoria da qualidade de vida da população. A sua utilização nos grandes centros urbanos, em substituição a outros combustíveis, reduz a emissão de poluentes e evita a produção de cinzas e detritos.

5.4. Emissões do Gás Natural Comparativa no Segmento de Geração de Energia Elétrica (Termelétrica, Geração Distribuída, Co-geração).

Ao mesmo tempo em que o Brasil apresenta uma geração de energia elétrica predominantemente a partir da hidroeletricidade, atualmente já existe um consenso que se faz necessário a complementaridade da geração de energia a partir das termelétricas para redução do risco hidrológico. O que não está claro ainda é qual o melhor caminho a ser seguido pelo Brasil dentre a alternativa geração termelétrica centralizada versus geração distribuída/co-geração.

Quando se compara o gás natural com os demais combustíveis fósseis para a geração termelétrica, seja uma grande central, seja a geração distribuída/co-geração, verificamos que o gás natural leva grande vantagem no quesito emissões atmosféricas, conforme ilustra as tabela a seguir:

Termelétrica a Gás Natural: impacto ambiental

Gás Natural x Óleo Combustível x Carvão para Geração Termelétrica			
	Gás Natural (*)	Óleo Combustível	Carvão
Poder Calorífico (kcal/kg)	11.500	9.830	6.200
Emissões (g/kWh el.):			
SO ₂	0	8	11,5
NO _x	0,4	3,6	4
CO ₂	400	800	850
Particulados	0,15	0,8	1

(*) Turbinas a gás de baixo NO_x (Dry Low NO_x), em ciclo combinado

Tabela 4 – Comparativo de emissões para geração termelétrica a partir de vários combustíveis

6. Considerações Finais e Tendências

O Protocolo de Kyoto sobre mudanças climáticas, que entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005, sem a participação dos Estados Unidos, que se negaram a ratificá-lo, é o mais estrito dos cerca de 250 acordos mundiais sobre o meio ambiente.

Concluído em 11 de dezembro de 1997 em Kyoto (Japão), o documento impõe a redução das emissões de seis gases causadores de efeito estufa, responsáveis pelo aquecimento do planeta: CO₂ (dióxido de carbono ou gás carbônico), CH₄ (metano), protóxido de nitrogênio (N₂O) e três gases flúor (HFC, PFC e SF₆).

Estas reduções, que em hipótese alguma serão simples, devem ser calculadas sobre a média 2008-2012 em comparação com os níveis de 1990. Os países do sul têm obrigação apenas de fazer um inventário. O tratado determina a diminuição do uso de energias fósseis, como carvão, petróleo e gás, que representam 80% destas emissões. O uso destes combustíveis aumenta com o crescimento econômico.

Cabe destacar que os Estados Unidos, que teriam que reduzir suas emissões em 7%, prevêem um aumento de 35% em 2012, o que explica sua decisão, em 2001, de abandonar o protocolo. Como este país emite 40% dos gases causadores de efeito estufa no conjunto de países industrializados e 21% a nível mundial, o alcance do protocolo de Kyoto será limitado, no que também contribui a ausência da Austrália.

A redução global das emissões será de cerca de 2% em 2012 em relação a 1990, em relação aos 5,2% inicialmente previstos. No entanto, representa um esforço de redução da ordem de 15% para os 36 países industrializados em função do aumento previsível de suas emissões.

O protocolo já foi ratificado por 141 países, dos quais 30 industrializados. A ratificação da Rússia, efetivada em 18 de novembro de 2004 e que foi oficializada neste 16 de fevereiro pelas Nações Unidas, permitiu a entrada em vigor deste tratado.

Assim, esse protocolo endossa no mercado brasileiro uma tendência mundial de se ter o gás natural como um combustível (vetor de transição) na busca por fontes mais limpas, bem como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, que pode representar em muitos casos a diferença entre a viabilidade ou não de projetos alternativos e não convencionais, bem como a busca pelo uso mais eficiente da energia, que resultem em mitigação dos gases de efeito estufa.

7. Agradecimentos

O autor faz especiais agradecimentos aos engenheiros Gustavo Rosas Costa, M.Sc. (Analista de Comércio e Suprimento), Antonio Carlos Pereira Maia (Gerente de Desenvolvimento de Mercado de Co-geração e Geração Distribuída da Petrobras), Claudia Valeria Carreiro de Sousa (Gerente de Desenvolvimento de Mercado de Consumidores de Médio e Grande Porte da Petrobras) e Luciana Bastos de Freitas Rachid (Gerente Geral de Desenvolvimento de Mercado da Petrobras) e aos professores da UFRJ/COPPE/Programa de Planejamento Energético Dr. Roberto Shaeffer, Dr. Alexandre Salem Szklo e Dr. Giovani Vitória Machado pelas sugestões, correções e esclarecimentos.

8. Referências

ALVARES JUNIOR, OLIMPIO E OUTROS. **Emissões Atmosféricas**. Editora CNI/SENAI, 2002.

MOUVIER, GÉRARD. **A Poluição Atmosférica**. Editora Ática, 9-104, 2000.

BRAGA, BENEDITO E OUTROS. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Universidade Técnica de Lisboa, 2004.

GALVÃO, J. B. **Meio Ambiente Aspectos Técnicos e Econômicos**. IPEA, Cap 2, 2000.

PEARCE, FRED. **Aquecimento Global**. Série Mais Ciência, 2001.

FELLENBERG, H.S. **Introdução aos Problemas de Poluição Ambiental**. Editora Pedagógica e Universitária LTDA, 2000.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Elementos de Ciências do Ambiente**. CETESB /ASCETESB, cap 6, 1999.

Sites:

<http://www.congas.com.br> ; <http://www.gasenergia.com.br> ; <http://www.petrobras.com.br>; <http://www.ctgas.com.br>