

**FELIPE OSTERMAYER**

**ESTUDO DAS EMISSÕES DE GASES FORMADORES DO EFEITO ESTUFA E  
BALANÇO RESULTANTE DA CONVERSÃO DE MOTORES À GASOLINA, DE  
UMA FROTA DE VEÍCULOS LEVES, PARA GÁS NATURAL E ÁLCOOL  
HIDRATADO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia – modalidade Profissionalizante – Ênfase: Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas, na Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**Orientador:** Prof. Dr. Nestor Cezar Heck

**Porto Alegre (RS)**

**2004**

Este trabalho de conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de mestre em engenharia e aprovado em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DATA APROVAÇÃO:

---

---

Prof. Dr. Nestor Cezar Heck - Orientador  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dra. Helena Cybis - Coordenadora  
Mestrado Profissionalizante em Engenharia  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Banca Examinadora:

---

Prof. Dra. Andrea Moura Bernardes  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dr. Ivo André Homrich Schneider  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dra. Maria Teresa Mônica Raya Rodriguez  
Centro de Ecologia / Instituto de Biociências  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## **AGRADECIMENTOS**

Em especial, ao Prof. Nestor Cezar Heck, pela suas contribuições, dedicação e incentivo necessários ao desenvolvimento deste trabalho.

À minha esposa Andrea pelo carinho, ajuda, paciência e apoio integral ao longo de todo o trabalho.

Ao meu filho Eduardo pela sua alegria contagiante nas brincadeiras e momentos de descontração, tão importantes para renovação do espírito e superação das dificuldades.

À minha mãe Suely pelo seu carinho e ensinamentos que me permitiram descobrir o gosto pelo estudo desde a infância.

Aos meus irmãos Frederico e Cássio pela visão, incentivo e discussões profundas sobre as questões energéticas associadas ao meio ambiente.

Aos amigos Carlos Weihmann, Antônio de Azevedo e Marcelo Junqueira pelos incentivos constantes e oportunidades oferecidas para exercitar o conhecimento adquirido na prática.

Aos colegas de curso e, em especial, à querida Alda Aparecida Terres pela troca de idéias e experiências de vida nos intervalos das aulas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espectro de potência da irradiação solar sobre a Terra.....	21
Figura 2. Balanço energético médio global do sistema Terra-atmosfera .....	22
Figura 3. Concentração atmosférica de CO <sub>2</sub> ( ppmv) oriunda de amostras coletas <i>in situ</i> no Observatório Mauna Loa, Havaí – 1958-1999 .....	26
Figura 4. Correlação estatística positiva entre concentração atmosférica de dióxido de carbono (eixo y', à direita, em ppmv) e temperatura média do planeta (eixo y', à esquerda, em °C) ao longo de 160.000 anos (eixo x em 10.000 anos).....	28
Figura 5. Participação percentual dos países no total de emissões de CO <sub>2</sub> emitidas em 1990 .....	43
Figura 6. Status das exigências requeridas para vigorar o Protocolo de Kyoto .....	51
Figura 7. Fluxograma geral de um projeto de redução de emissões de GEE (gases do efeito estufa) .....	74
Figura 8. Levantamento da frota nacional de transporte individual e do correspondente consumo de combustíveis.....	82
Figura 9. Dados experimentais da potência, descarga e emissões de gases do escapamento de um motor veicular marca Fiat, 1.0 – 3.800 rpm, carga total .....	96
Figura 10. Frota de veículos tipo táxi registrados no ano de 2001 – município de Porto Alegre .....	120
Figura 11. Distribuição percentual da frota de veículos tipo táxi, circulante em Porto Alegre no ano de 2001, movidos a gasool .....	121
Figura 12. Cenário 1A – Método Tier 1 – Substituição de combustível gasool por gás natural veicular – Emissões de CO <sub>2</sub> Projetadas em 10 Anos .....	136
Figura 13. Cenário 1B – Método Tier 2 – Emissões de CO <sub>2</sub> Projetadas para 10 Anos – Veículos Com Tecnologia Avançada .....	137
Figura 14. Cenário 1C – Método Tier 2 – Emissões de CO <sub>2</sub> Projetadas para 10 Anos – Veículos Sem Tecnologia Avançada.....	138

Figura 15. Cenário 2A – Método Tier 1 – Substituição de combustível gasool por álcool hidratado (AH) – Emissões de CO <sub>2</sub> .....	138
Figura 16. Cenário 2A – Método Tier 1 – Substituição de combustível por álcool hidratado (AH) – Emissões de CO <sub>2</sub> Considerando Abatimento da Parcela de Origem Renovável* .....	139
Figura 17. Cenário 2B – Método Tier 2 – Substituição de combustível gasool por álcool hidratado (AH) – Emissões de CO <sub>2</sub> .....	139
Figura 18. Cenário 2B – Método Tier 2 – Emissões de CO <sub>2</sub> Considerando Abatimento da Parcela de Origem Renovável* - Substituição de combustível gasool por álcool hidratado (AH) .....	140

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Potencial de Aquecimento Global (GWP – Global Warming Potential) para gases formadores de efeito estufa .....	23
Tabela 2. Anexo I (Ratificado) a CQNUMC.....	42
Tabela 3. Maiores emissores de CO <sub>2</sub> em 1990 – setor energia.....	44
Tabela 4. Processos antrópicos emissores de gases de efeito estufa .....	59
Tabela 5. Emissões do ciclo de vida total para automóveis à gasolina com a respectiva produção de combustível, produção de veículos e utilização em serviço.....	88
Tabela 6. Emissões totais do ciclo de vida para carros à gasolina e combustíveis alternativos.....	89
Tabela 7. Variação relativa na emissão de poluentes pelo escapamento em função do teor de álcool anidro na gasolina (%v/v) .....	91
Tabela 8. Emissões de metano geradas no processamento de petróleo e gás natural .....	98
Tabela 9. Emissões de metano geradas em atividades de petróleo em distintas regiões.....	99
Tabela 10. Fatores de emissão de metano em atividades de refino de petróleo – metodologia simples .....	101
Tabela 11. Fatores de emissão (kg/m <sup>3</sup> ) não combustíveis em atividades de refino de petróleo – processo de craqueamento catalítico.....	101
Tabela 12. Emissões líquidas de GEE na agroindústria de cana-de-açúcar .....	104
Tabela 13. Emissões de carbono com o uso da palha e aumento nas taxas de conversão.....	106
Tabela 14. Variação total nas emissões de CO <sub>2</sub> (uso parcial da palha como combustível).....	107
Tabela 15. Incertezas relativas às emissões de gases formadores do efeito estufa .....	110
Tabela 16. Distância anual percorrida pela frota e consumo de combustível dos veículos tipo táxi (gasool) durante o ano de 2001 – classificados por ano de fabricação .....	122

Tabela 17. Relação de combustíveis e seus respectivos fatores de conversão para tEP, fatores de correção de PCS para PCI e fatores de emissão de carbono.....	127
Tabela 18. Fatores de emissão de CO <sub>2</sub> para veículos a gasool (kgCO <sub>2</sub> / km) .....	128
Tabela 19. Fatores de emissão de CO <sub>2</sub> para veículos a álcool hidratado (kg CO <sub>2</sub> / km).....	131
Tabela 20. Dados básicos empregados nos cenários selecionados.....	132
Tabela 21. Resumo das emissões anuais de CO <sub>2</sub> para linha de base e cenários selecionados .....	133
Tabela 22. Análise comparativa dos balanços de emissões de CO <sub>2</sub> para uma atividade de projeto com duração de 10 anos.....	135
Tabela 23. Oportunidades de ganho econômico adicional associadas à atividade de projeto realizada nos moldes do MDL .....	141

## SIMBOLOS E ABREVIATURAS

ACV	Análise do ciclo de vida
AH	Álcool hidratado
AND	Autoridade Nacional Designada
ANP	Agência Nacional de Petróleo
AOD	Assistência Oficial ao Desenvolvimento
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CH <sub>4</sub>	Metano
CIN/CQMC	Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção Quadro sobre Mudança do Clima
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Desenvolvimento
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COP	Conferência das Partes
COP/MOP	Conferência das Partes como Reunião das Partes do Protocolo
CQNUMC	Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudança do Clima
DCP	Documento de Concepção de Projeto
EOD	Entidade Operacional Designada
g	Gramas
Gasool E22	Mistura de gasolina comum tipo C (78%) com álcool anidro (22%)
GEE	Gases Formadores do Efeito Estufa

GEF	Global Environmental Facility (Fundo Global para o Meio Ambiente)
GNC	Gás natural comprimido
GNV	Gás natural veicular
GSL (gasool)	Gasolina misturada com etanol anidro (aditivo com função oxigenante e anti-detonante) misturado à gasolina tipo C no Brasil
GWP	Global Warming Potential (potencial de aquecimento global)
H <sub>2</sub> O	Água
HC	Hidrocarbonetos não queimados
HFCs	Hidrofluorcarbonos
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima)
Kcal	Quilocaloria
Km	Quilômetro
L	Litro
LB	Linha de base
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MJ	Megajoule
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
Nm <sup>3</sup>	Normal metro cúbico
NMVOG	Orgânicos voláteis não-metanos
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrogênio
O <sub>3</sub>	Ozônio
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômicos

ONU	Organização das Nações Unidas
PCI	Poder calorífico inferior
PCS	Poder calorífico superior
PFCs	Perfluorcarbonos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROCONVE RCEs	Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores Reduções Certificadas de Emissões
SAR	Segundo Relatório de Avaliação
SBI	Subsidiary Body for Implementation (Órgão Subsidiário de Implementação)
SBSTA	Subsidiary Body for Technological and Scientific Advice (Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico)
SF <sub>6</sub>	Hexafluoreto de enxofre
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre
TAR	Terceiro Relatório de Avaliação
tC	Tonelada de carbono
tCO <sub>2</sub>	Tonelada de dióxido de carbono
tCO <sub>2eq</sub>	Tonelada de dióxido de carbono equivalente
tEP	Tonelada equivalente de petróleo
TJ	Terajoule
UNEP	United Nations Environment Programme
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
USEPA	United States Environmental Protection Agency
WG	Working Group
WMO (OMM)	World Meteorological Organization (Organização Mundial de Meteorologia)

## RESUMO

Este trabalho objetiva realizar um estudo sobre a contribuição antrópica no processo de formação de gases do efeito estufa e seus possíveis reflexos sobre as mudanças climáticas, em curso no planeta Terra. Após uma pesquisa inicial sobre as causas deste fenômeno, são identificadas as iniciativas internacionais em curso para mitigação do processo de aquecimento global, propostas pela Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudança do Clima (CQNUMC), particularmente, em relação ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) estabelecido pelo Protocolo de Kyoto. Em âmbito mundial, a contribuição de gases formadores do efeito estufa gerados nas atividades de transporte é bastante significativa ocupando o segundo lugar, atrás apenas das emissões provocadas pelas atividades industriais. Esta posição natural, somada às oportunidades existentes no território brasileiro para o uso alternativo de combustíveis oriundos de fontes renováveis e fósseis com menor nível de emissões, impulsionaram este estudo para a pesquisa das condições existentes e análise das alternativas energéticas de menor impacto ambiental. Adicionalmente, foi desenvolvida uma análise da contribuição da atividade de transporte rodoviário nas emissões de gases formadores do efeito estufa (GEE), através do exemplo de um caso hipotético. Trata-se da análise comparativa dos inventários de emissões de GEE, antes e depois da conversão de motores ciclo Otto de uma frota de veículos leves, originalmente movidos à gasolina (gasool), para os combustíveis alternativos gases natural e álcool hidratado. Após análise dos resultados obtidos, em cada um dos cenários selecionados, as alternativas

propostas são comparadas identificando-se a melhor opção para redução de emissões de GEE.

**Palavras-chaves:** MEIO AMBIENTE – ASPECTOS ECONÔMICOS. EFEITO ESTUFA.  
AQUECIMENTO GLOBAL. PROTOCOLO KYOTO.

## **ABSTRACT**

*The main purpose of this work is to study the anthropic contribution on the process of generation of green house gases and the possible effects on the climate change currently under course on Earth. Following an initial research on the phenomena's roots, international actions for the mitigation of the global warming recently under progress, proposed by the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), specially related to the clean development mechanism (CDM) and established by the Kyoto protocol, are identified. Worldwide the contribution of the green house gases (GHG) from transport activities sector is very relevant, reaching the second place just subsequent to industrial emissions. This significant position, added to the brazilian opportunities for the use of conventional and alternative fuels from fossil and renewable sources with lower emissions levels, leaded this study to the research of existing conditions and to the analysis of the lower environmental impact energy alternatives. Further on, an analysis by a hypothetical case study on the contribution of the road transportation sector to the emission of GHG is attempted. Here, gasoline (brazilian dehydrated ethanol added gasoline) Otto engines of a light vehicle fleet are to be converted to the alternative fuels: natural gas and hydrated ethanol. The inventories made before and after the change is made are compared. After the results in each of the scenarios are analyzed, the proposed alternatives are compared and the best option in relation to the reduction of green house gases emission is identified.*

**Keywords:** AMBIENT. GREEN HOUSE GASES .KYOTO PROTOCOL.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	20
2.1 O EFEITO ESTUFA .....	20
2.2 A INTRODUÇÃO DA MUDANÇA CLIMÁTICA NA POLÍTICA INTERNACIONAL .....	29
<b>2.2.1 Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climática (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC): um marco decisivo para o estudo do clima</b> .....	34
<b>2.2.2 A Importância da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima</b> .....	36
<b>2.2.3 O Protocolo de Kyoto</b> .....	48
2.2.3.1 <i>Críticas ao Protocolo de Kyoto</i> .....	51
2.2.3.2 <i>O Comércio de Reduções Certificadas de Emissões de GEE</i> .....	55
<b>2.2.4 Oportunidades e Desafios para o Brasil no Âmbito do Protocolo de Kyoto</b> .....	57
<b>2.2.5 O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo</b> .....	58
<b>2.2.6 Certificados de Redução de Emissões</b> .....	63
<b>2.2.7 Projetos de Abatimento e Seqüestro de Carbono</b> .....	65
2.2.7.1 <i>Elaboração do Documento de Concepção do Projeto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo</i> .....	65
2.2.7.2 <i>Método da Linha de Base das Atividades do Projeto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo</i> .....	65
2.2.7.3 <i>Método de Cálculo</i> .....	66
2.2.7.4 <i>Limites do Projeto</i> .....	67
2.2.7.5 <i>Fuga</i> .....	67

2.2.7.6	<i>Definição do Período de Obtenção de Créditos</i> .....	68
2.2.7.7	<i>Plano de Monitoramento</i> .....	68
2.2.7.8	<i>Justificativa para Adicionalidade da Atividade de Projeto</i> .....	68
2.2.7.9	<i>Documento e Referências sobre Impactos Ambientais</i> .....	69
2.2.7.10	<i>Resumo dos Comentários dos Atores</i> .....	69
2.2.7.11	<i>Informações sobre Fontes Adicionais de Financiamento</i> .....	69
2.2.7.12	<i>Validação e Aprovação</i> .....	70
2.2.7.13	<i>Registro</i> .....	71
2.2.7.14	<i>Monitoramento</i> .....	71
2.2.7.15	<i>Verificação/ Certificação</i> .....	72
2.2.7.16	<i>Emissão das Reduções Certificadas de Emissões</i> .....	73
2.3	<b>A CONTRIBUIÇÃO DA ATIVIDADE DE TRANSPORTE NAS EMISSÕES DE GASES FORMADORES DO EFEITO ESTUFA</b> .....	75
2.3.1	<b>Análise das Emissões de Gases do Efeito Estufa Associados ao Uso de Veículos</b> .....	84
2.3.1.1	<i>Considerações sobre a Emissão de Gases Poluentes na Produção de Combustíveis – Derivados de Petróleo (Gasolina) e Gás Natural</i> .....	92
2.3.1.2	<i>Considerações sobre a Emissão de Gases Poluentes na Produção de Álcool</i> .....	102
2.4	<b>MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DA LINHA DE BASE NA ATIVIDADE DE TRANSPORTE</b> .....	108
2.4.1	<b>Emissões Diretas</b> .....	112
2.5	<b>MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DAS NOVAS LINHAS DE BASE</b> .....	115
2.5.1	<b>Emissões Diretas – Combustível Álcool Hidratado</b> .....	115
2.5.2	<b>Emissões Diretas – Combustível Gás Natural Veicular</b> .....	115
3	<b>ESTUDO DE CASO – ESTIMATIVA DO BALANÇO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA DECORRENTES DA CONVERSÃO DE MOTORES DA FROTA DE VEÍCULOS TIPO TÁXI DE PORTO ALEGRE</b> .....	118
3.1	<b>PREMISSAS</b> .....	118

<b>3.2 LINHA DE BASE .....</b>	<b>119</b>
<b>3.3 SIMULAÇÕES.....</b>	<b>122</b>
<b>3.3.1 Cálculo de EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> para a Linha de Base.....</b>	<b>127</b>
<b>3.3.2 Cálculo de Emissões de CO<sub>2</sub> para as Novas Linhas de Base.....</b>	<b>129</b>
<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E ESTIMATIVAS DE EMISSÕES .....</b>	<b>133</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>142</b>
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>143</b>
<b>7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....</b>	<b>145</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>146</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As alterações climáticas vêm se constituindo em um dos mais graves problemas ambientais deste século. Diariamente, são noticiados pela imprensa mundial fenômenos meteorológicos de alto impacto sobre a população tais como furacões, ciclones, tempestades, inundações, nevascas e vendavais, entre outras tragédias, em regiões que não apresentavam estes fenômenos até poucos anos atrás. Dados obtidos em amostras de árvores, corais, glaciares e outros métodos indiretos sugerem que as atuais temperaturas da superfície da Terra são as mais quentes do que em qualquer época dos últimos 600 anos.

Embora o clima tenha sempre variado naturalmente, resultados de pesquisas científicas e simulações sofisticadas vêm sinalizando que as emissões excessivas de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso podem provocar mudanças permanentes e irreversíveis no regime climático, imprimindo novos padrões no regime de ventos, pluviosidade e circulação dos oceanos.

Nos últimos cem anos, foi registrado um aumento de cerca de um grau Celsius (1°C) na temperatura média do planeta Terra. Em que pese as variações do clima, a velocidade e a intensidade observadas no aumento da temperatura, nesse período, são incompatíveis com o tempo necessário à adaptação natural da biodiversidade e dos ecossistemas (LOPES, 2002).

Estes problemas vêm sendo intensificados pelas ações do homem, também denominados antrópicas, decorrentes basicamente do aumento da queima de combustíveis fósseis nos últimos duzentos anos. Somando-se a um processo natural, a emissão adicional de gases contribuintes para o fenômeno denominado “efeito estufa” aumentam a sua concentração na atmosfera e, conseqüentemente, ampliam a capacidade de absorção de energia já existente naturalmente.

Por outro lado, com o fenômeno da globalização, observa-se uma crescente interdependência econômica entre as nações acompanhada de maior interdependência ambiental, relacionada a problemas regionais (chuva ácida, desertificação, poluição de recursos hídricos) e globais (especialmente a depleção da camada de ozônio e a mudança climática).

Progressivamente, questões ambientais e econômicas vêm convergindo e estão cada vez mais interligadas formando uma rede de causa e efeito – em âmbitos locais, regionais, nacionais e mundiais - uma vez que os ecossistemas não respeitam fronteiras nacionais.

Neste trabalho propõe-se o estudo dentro do fenômeno “efeito estufa” das políticas, mecanismos e ações desencadeadas em um plano internacional que têm a finalidade de mitigar os possíveis reflexos sobre as mudanças climáticas em curso no planeta Terra.

Além disso, pretende-se investigar também a regulamentação internacional proposta pela Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudança do Clima (CQNUMC), através do Protocolo de Kyoto, particularmente, as oportunidades de negócio em relação ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e sua aplicabilidade no território brasileiro.

Seguindo o método de atividades de projeto do MDL estabelecido pelo Protocolo para projetos de abatimento e seqüestro de carbono, pretende-se realizar estudo de caso para dimensionar a remoção ou o acréscimo de gases formadores do efeito estufa resultante das emissões atmosféricas geradas por uma frota de veículos automotores, após a conversão dos seus respectivos motores para uso dos combustíveis alternativos gás natural veicular e álcool hidratado, em substituição à gasolina comum (formada pela mistura de 22% de álcool anidro à gasolina do tipo C).

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 O EFEITO ESTUFA**

A atmosfera é constituída por uma mistura de gases, predominantemente nitrogênio ( $N_2$ ), oxigênio ( $O_2$ ) e argônio perfazendo em conjunto 99% do seu volume. Embora em pequena quantidade (1%), os outros gases desta mistura têm fundamental importância no equilíbrio térmico, pois evitam que uma parte do calor irradiado sobre a Terra retorne ao espaço sideral.

A radiação solar é absorvida de maneira natural pela superfície da Terra e redistribuída pela circulação atmosférica e oceânica. Para manter o seu equilíbrio térmico, a Terra emite para o espaço a mesma proporção de energia que recebe de radiação solar. A Figura 1 ilustra o espectro de irradiação solar sobre a Terra. A radiação incidente atravessa as diversas camadas da atmosfera e seu retorno ocorre na forma de radiações térmicas de grande comprimento de onda ou calor (radiação “terrestre” ou “infravermelha”), que, em parte, são absorvidas por certos gases presentes na própria atmosfera. Eles agem como a cobertura de uma estufa sobre o planeta, permitindo a passagem da radiação solar, mas evitando a liberação da radiação infravermelha, emitida pela Terra.

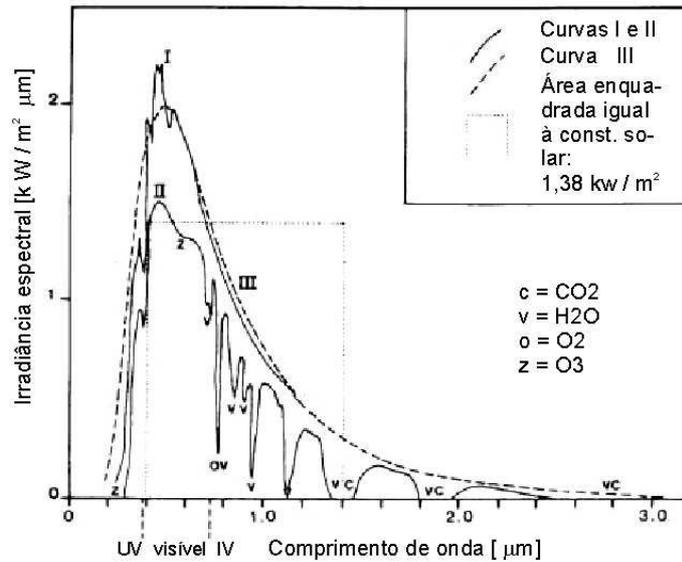


Figura 1. – Espectro de potência da irradiação solar sobre a Terra

- Curva I – representa a irradiação fora da atmosfera terrestre.  
 Curva II – representa a irradiação típica ao nível do mar com céu claro e o sol em seu zênite.  
 Curva III - representa a irradiação de um corpo negro a temperatura 5.900 K.  
 Fonte: [www.maths.monash.edu.au/atm2022/Section2\\_03.pdf](http://www.maths.monash.edu.au/atm2022/Section2_03.pdf) (julho de 2003).

Por esta propriedade particular que possuem de reter o calor, da mesma forma que os vidros de um carro fechado ou o revestimento de uma estufa sob a incidência do sol, são chamados gases formadores do efeito estufa (GEE). Assim, pela ação do efeito estufa natural a atmosfera se mantém aquecida, em cerca de 30°C, possibilitando, com isso, a existência de vida no planeta, evitando a formação de um deserto gelado que ocorreria sem ele. A Figura 2 apresenta um fluxo esquemático das parcelas de radiação solar incidentes sobre a Terra.

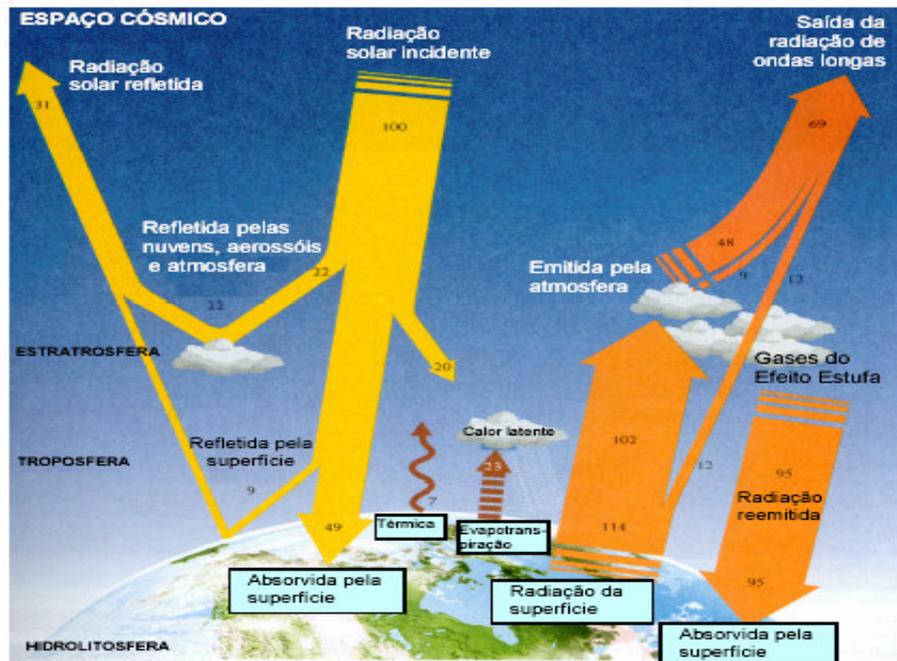


Figura 2 – Balanço energético médio global do sistema Terra-atmosfera (percentuais da energia da radiação solar incidente).

Fonte: (GRAEDEL; CRUTZEN 1997) transcrito de MATTOS, 2001.

A radiação terrestre e as concentrações de gases de efeito estufa resultam na intensificação do efeito que naturalmente já se processa na atmosfera da Terra há bilhões de anos. Entre os principais gases formadores do efeito estufa, distribuídos na atmosfera, encontram-se o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), o ozônio ( $\text{O}_3$ ) e o vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Neste grupo, cabe destacar a ação do  $\text{CO}_2$  uma vez que o volume de suas emissões para a atmosfera representa algo em torno de 55% do total das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, o tempo de sua permanência na atmosfera é de, pelo menos, dez décadas. Apenas para que se tenha uma idéia da ordem de grandeza, os níveis de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera aumentaram de 280 partes por milhão em volume (unidade de concentração de gases na atmosfera), desde o período que antecede a Revolução Industrial, para cerca de 360 partes por milhão, atualmente.

A Tabela 1 relaciona os principais gases formadores do efeito estufa através de um índice comparativo chamado Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential - GWP), utilizado para uniformizar as quantidades dos diversos gases de efeito estufa em termos de dióxido de carbono equivalente, possibilitando que volumes de diferentes gases sejam somados.

Tabela 1 – Potencial de Aquecimento Global (GWP – Global Warming Potential) para gases formadores do efeito estufa

<b>Gás</b>	<b>100 Anos GWP</b>
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	21
N <sub>2</sub> O	310
HFC-23	11.700
HFC-125	2.800
HFC-134a	1.300
HFC-143a	3.800
HFC-152a	140
HFC-227ea	2.900
HFC-236fa	6.300
HFC-43-10mee	1.300
CF <sub>4</sub>	5.700
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	11.900
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	8.600
C <sub>4</sub> F <sub>10</sub>	8.600
C <sub>5</sub> F <sub>12</sub>	8.900
C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	9.000
SF <sub>6</sub>	23.900

Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (1996)

As emissões antrópicas de CO<sub>2</sub> decorrem principalmente da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), em usinas termoelétricas e indústrias, veículos em circulação e sistemas domésticos de aquecimento. Reservatórios naturais e sumidouros que têm a propriedade de absorver o CO<sub>2</sub> do ar são também afetados por ação antrópica, como as queimadas e os desmatamentos.

Neste contexto, cabe destacar ainda as pequenas partículas presentes na atmosfera, os aerossóis, derivados principalmente das emissões de dióxido de enxofre gerado pela queima de combustíveis fósseis e fontes naturais, como a queima de biomassa. Na maior parte dos casos, os aerossóis que permanecem na camada mais próxima da superfície da Terra tendem a resfriar o clima por alguns anos.

Em média, para a Terra como um todo, a energia solar que chega é equilibrada pela radiação terrestre que é emitida. Qualquer fator que venha a alterar esse processo ou mesmo a redistribuição da energia dentro da atmosfera e na relação atmosfera-terra-oceanos pode afetar o clima.

Portanto, preocupam as mudanças no balanço radiativo da Terra pois elas tenderão a alterar as temperaturas atmosféricas e oceânicas e os correspondentes padrões de circulação e tempo, bem como o ciclo hidrológico (por exemplo, alterações na distribuição das nuvens e mudança nos regimes de precipitação e evaporação). O aquecimento geral depende da relação entre a magnitude do aumento da concentração de cada gás associado ao efeito estufa, de suas propriedades radiativas e de suas concentrações já presentes na atmosfera. O aumento das concentrações de gases como o CO<sub>2</sub> acima do natural pode ser potencialmente perigoso, com possíveis consequências catastróficas para a humanidade, como o aumento do nível do mar.

A partir dos dados disponíveis até 1990 e da tendência de emissões nos níveis atuais, sem a implementação de políticas específicas para redução de emissões, projeta-se que o aumento da temperatura média na superfície terrestre seja entre 1 e 3,5°C no decorrer dos próximos 100 anos Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, 2001), enquanto o aumento observado no

século XIX foi entre 0,3 e 0,6°C. Conclui-se que o aumento nas concentrações de gases do efeito estufa tende a reduzir a eficiência com que a Terra se resfria.

Uma revisão pormenorizada sobre as pesquisas relacionadas ao efeito estufa encontra-se em Pereira (2002). Segundo este autor, a primeira descrição do efeito estufa deve-se a Jean-Baptiste Fourier, em 1824, que também foi o responsável pela introdução do conceito e da analogia do fenômeno com uma concha de vidro *glass bowl* que permite a entrada da luz solar e retém a radiação térmica, e que acabou originando o nome do fenômeno. A idéia foi elaborada posteriormente por Pouillet (1837), Tyndall (1865), e Langley (1888) ambos com importantes contribuições. Contudo, os primeiros cálculos acerca da magnitude deste efeito foram realizados pouco mais de sete décadas após o trabalho de Fourier pelo prêmio Nobel sueco Svante Arrhenius em 1896.

Cabe notar que, mesmo possuindo sólida base matemática, o trabalho de Arrhenius teve inicialmente um pequeno reconhecimento e foi sucedido pelas contribuições do geologista norte-americano Chamberlin (feitas entre 1897 e 1899), estas sim, recebidas com mais entusiasmo.

É importante notar que estes fatos revelam que a possibilidade de um aquecimento global estar relacionado ao aumento da emissão e concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> já havia sido contemplada no final do século XIX.

Posteriormente, Callendar (de 1938 a 1961) escreveria por quase três décadas sobre os efeitos potenciais das emissões antrópicas de CO<sub>2</sub> decorrentes da queima de combustíveis fósseis. Suas idéias seriam reforçadas também por Plass (1956 e 1961), que ajudou a promover a teoria durante o final da década de 50. Ao assumir em 1956 a chefia do Programa

de Dióxido de Carbono Atmosférico do Scripps Institution of Oceanography, Charles David Keeling daria início às medições e ao armazenamento dos primeiros dados empíricos referentes aos níveis de concentração atmosférica de CO<sub>2</sub>, coletados no Observatório Mauna Loa, no Havaí e também na Antártica (*apud* PEREIRA *et al.*, 2002). Estes dados são apresentados na Figura 3.

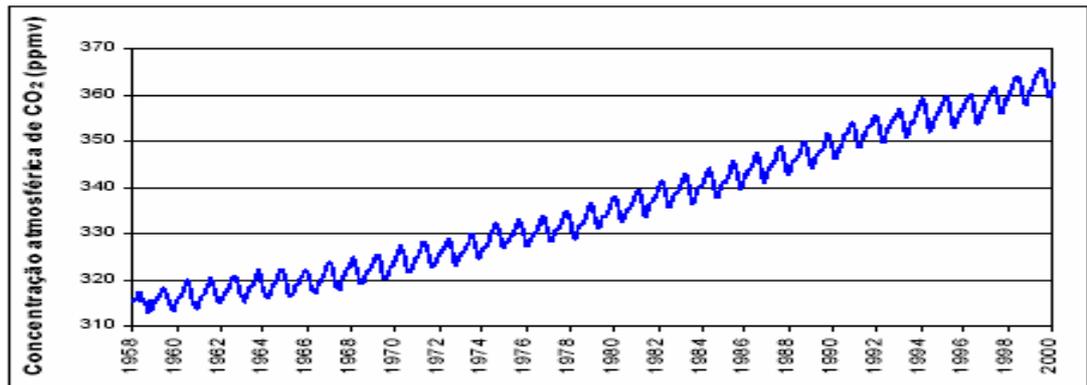


Figura 3. – Concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> (ppmv) oriunda de amostras coletadas *in situ* no Observatório Mauna Loa, Havaí – 1958-1999

Fonte: C.D. Keeling; T.P. Whorf. Scripps Institution of Oceanography (SIO) University of California La Jolla, California USA 92093-0244, transcrito de Pereira (2002).

Obs: 1. Dados primários obtidos em novembro de 2000, disponíveis em <http://cdiac.esd.ornl.gov/ftp/maunaloa-CO2/maunaloa.CO2> segundo Pereira (2002).

2. Compatível com dados provenientes de outras localidades. Os ciclos periódicos evidenciados no gráfico são causados pelas variações sazonais na absorção da vegetação.

Outro marco fundamental na história foi o artigo de Revelle; Suess (1957), segundo o qual, a humanidade havia embarcado em "um experimento geofísico de larga escala", devido ao aumento da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> resultante do uso de combustíveis fósseis, com profundas conseqüências sobre o sistema climático. Como membro do *President's Science Advisory Committee Panel on Environmental Pollution* em 1965, Revelle foi ainda o responsável pela inserção do assunto na agenda política norte-americana. O Comitê liderado por Revelle publicou o primeiro relatório governamental autorizado, no qual o aumento da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> decorrente do volume de emissão proveniente da queima de combustíveis fósseis era reconhecido oficialmente como um problema potencial global. No

ano de 1967, Manabe; Wetherald publicaram o artigo “Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity”, onde foi apresentado o primeiro modelo consistente para cálculo do aquecimento atmosférico causado pela intensificação do efeito estufa.

Em 1972, o relatório *Limits to Growth* (apud PEREIRA *et al.*, 2002) também apontava a mudança climática como uma possível consequência do crescimento econômico dentro de um cenário de referência. Em 1977, Revelle presidiu o *NAS Energy and Climate Panel*, onde foi revelado que cerca de 40% do CO<sub>2</sub> antropogênico ainda permanecia na atmosfera (apud PEREIRA *et al.*, 2002).

Desde então, em especial a partir do final dos anos 80, vem sendo desenvolvido nos campos teórico, empírico e computacional, um enorme volume de pesquisas direcionadas tanto às causas antrópicas das mudanças no sistema climático, quanto às suas possíveis consequências (apud PEREIRA *et al.*, 2002).

Dados sobre a concentração de CO<sub>2</sub> e a temperatura média do planeta estendendo-se por 160.000 anos anteriores ao período atual podem ser vistos na Figura 4 (apud PEREIRA *et al.*, 2002). Estes dados indicam, sem dúvida, uma correlação estatística entre o aumento da concentração atmosférica de gases de efeito estufa e o aumento da temperatura média da Terra, que por si só não significa necessariamente uma relação de causa-efeito, para a qual seria necessário buscar uma explicação científica. E foi justamente a pesquisa que vem sendo realizada desde o final do século XIX que forneceu os elementos necessários para demonstrar que, por trás desta correlação estatística, há de fato uma relação de causa-efeito.

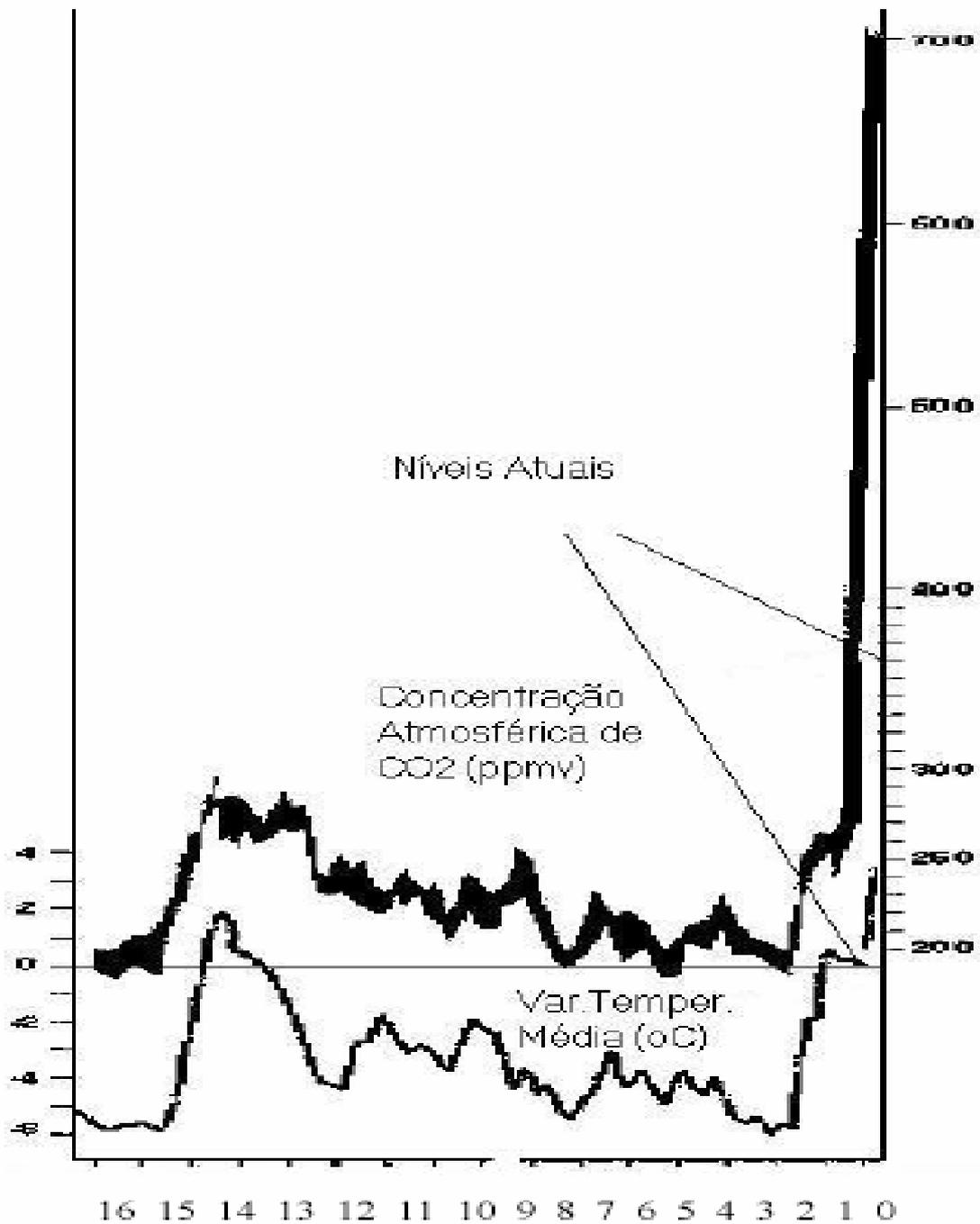


Figura 4. - Correlação estatística positiva entre concentração atmosférica de dióxido de carbono (eixo à direita, em ppmv) e temperatura média do planeta (eixo à esquerda, em °C) ao longo de 160.000 anos (eixo das abscissas com intervalos de 10.000 anos)  
 Fonte: (BARNOLA et al., 1987), transcrito de [Pereira](#) (2002).

## 2.2 A INTRODUÇÃO DA MUDANÇA CLIMÁTICA NA POLÍTICA INTERNACIONAL

Devido à crescente preocupação com questões ambientais globais e ao avanço no estado da arte da ciência, o tema “mudança climática” acabou por ser introduzido na agenda política mundial em meados da década de 80 (PEREIRA, 2002).

Nos últimos trinta anos, as principais iniciativas internacionais para estabilizar o clima podem ser resumidas na seguinte ordem cronológica de eventos:

1972 – É realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano em Estocolmo, Suécia, levantando discussões iniciais sobre variação de temperatura da Terra e mudanças climáticas.

1979 – Novamente em Estocolmo, ocorre a Primeira Conferência Mundial sobre o Clima, onde os participantes reconhecem a gravidade dos possíveis problemas decorrentes do aquecimento global.

Entre o final dos anos 80 e início dos 90, seguiram-se diversas conferências sobre mudanças climáticas.

1987 – É aprovado o Protocolo de Montreal, no Canadá, identificando as substâncias que causam danos à camada de ozônio, estabelecendo a eliminação gradual da emissão destes gases, dentre os quais se incluem alguns que, além de destruírem a camada de ozônio, também são causadores do efeito estufa.

1988 - Ao final da década de 80, observa-se um crescimento substancial de preocupações sobre a existência de uma possível mudança no padrão de funcionamento do sistema climático da Terra. Em junho de 1988, ocorre a Conferência Mundial sobre Mudanças Atmosféricas, *The Changing Atmosphere: Implications for Global Security*, realizada em

Toronto, Canadá. Durante essa conferência, que segundo (RAMAKRISHNA, 2000 apud PEREIRA *et al.*, 2002) demarcaria historicamente uma fase única no desenvolvimento do regime climático, sugeriu-se a adoção rápida de uma convenção internacional sobre mudança climática. Ainda em 1988, seguindo uma proposta do governo de Malta, a Assembléia Geral das Nações Unidas adota uma resolução sobre a “Proteção do clima global para as gerações presentes e futuras da humanidade”, considerando pela primeira vez a mudança climática em sua agenda. No mesmo ano, em novembro, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA); *United Nations Environment Programme* (UNEP) e a Organização Mundial de Meteorologia (OMM); *World Meteorological Organization* (WMO) constituem o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima /*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), encarregado de apoiar com trabalhos científicos as negociações da Convenção.

1990 – É realizada a Segunda Conferência Mundial do Clima patrocinada pela OMM e pelo PNUMA, entre outras organizações internacionais. Os participantes concluem pela necessidade de se estabelecer um tratado internacional sobre o tema, onde o termo “responsabilidades comuns, mas diferenciadas” foi cunhado. Em dezembro de 1990, a Assembléia Geral da ONU aprova o início das negociações para o tratado. Ficou estabelecido o comitê - *Intergovernmental Negotiating Committee for a Framework Convention on Climate Change* (INC/FCCC) - responsável por produzir o tratado. O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima publica seu Primeiro Relatório de Avaliação. Esse relatório concluiu que as mudanças climáticas representam uma ameaça à humanidade e que as negociações para a adoção de um tratado deveriam começar o mais rápido possível. A Assembléia Geral da ONU lança negociações de uma convenção quadro e cria o Comitê Negociador Intergovernamental (INC).

1991 – Registram-se diversas negociações internacionais para realização da primeira Convenção sobre Mudança do Clima da ONU.

1992 – No mês de maio, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima é adotada em Nova Iorque, Estados Unidos da América (EUA). Em junho, a referida Convenção-Quadro é aberta para assinatura durante a Cúpula da Terra no Rio de Janeiro, Brasil. A principal referência para as negociações desta Convenção foi um documento elaborado pelo IPCC o qual continha uma ampla avaliação do conhecimento técnico e científico existente, até então, sobre o clima. A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas foi assinada por 154 nações (mais a União Européia) no Rio de Janeiro, Brasil.

1994 - A Convenção do Clima (UNFCCC) entra em vigor em março de 1994, sendo ratificada por 50 países signatários.

1995 – No mês de fevereiro, a Conferência das Partes (COP) substitui o INC como órgão soberano da Convenção. Os signatários da UNFCCC, tanto países desenvolvidos quanto países em desenvolvimento, assumiram uma série de responsabilidades. A Convenção Quadro sobre Mudança do Clima entra em vigor. É realizada a primeira sessão da Conferência das Partes, a COP 1, em Berlim, Alemanha. Delegados de 117 países lançaram o Mandato de Berlim, prevendo futuros compromissos a partir da Convenção, destacando-se um acordo a ser assinado em 1997. O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima aprova seu Segundo Relatório de Avaliação e reconhece a necessidade de uma forte ação política. É publicado o Segundo Relatório do IPCC *Second Assessment Report* (SAR), em que os cientistas internacionais afirmam haver uma influência detectável da ação humana sobre a mudança do clima.

1996 – É realizada, no mês de junho, a segunda sessão da Conferência das Partes em Genebra, Suíça. O segundo relatório do IPCC de 1995 é publicado em tempo para

apresentação durante a COP 2 e torna-se a principal referência nas negociações que culminariam no futuro Protocolo de Kyoto. É aprovada a Declaração de Genebra.

1997 - Em dezembro, durante a COP-3, o Protocolo de Kyoto é adotado por consenso. De acordo com este Protocolo, os países industrializados se comprometem a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em pelo menos 5% dos índices registrados em 1990, no período de 2008-2012 (5,2% em média).

1998 - Em março, o Protocolo de Kyoto é aberto para assinaturas, sendo prevista a entrada em vigor 90 dias após sua ratificação por, no mínimo, 55 países membros da Convenção, incluindo entre estes os países desenvolvidos responsáveis por pelo menos 55% do total das emissões de CO<sub>2</sub> emitidas em 1990. No mês de novembro, é realizada a COP-4 em Buenos Aires, Argentina. Neste encontro, é elaborado o Plano de Ação de Buenos Aires contendo um cronograma para a implementação do Protocolo de Kyoto, estabelecendo-se um prazo de dois anos para sua regulamentação.

1999 – É realizada a COP-5 em Bonn, Alemanha, dando-se seguimento às reuniões técnicas e processos de consulta em cumprimento ao Plano de Buenos Aires.

2000 – Em novembro é realizada a COP-6 em Haia, Holanda sendo comunicado que a Convenção já contava com 183 assinaturas. Embora a Conferência tenha sido prorrogada por mais um dia, não houve consenso em diversos pontos apresentados para discussão, sendo a mesma suspensa.

2001 – Em janeiro, o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima anuncia seu Terceiro Relatório de Avaliação. Conclui que existem fortes evidências relacionando as atividades humanas como a maior causa do aquecimento global dos últimos 50 anos. É publicado o Terceiro Relatório do IPCC “*Third Assessment Report (TAR)*”. Em julho, é

realizada em Bonn, Alemanha, a continuação da Conferência de Haia (suspensa), chamada de COP 6,5”.

Ao final de outubro e início de novembro do mesmo ano, é realizada a COP 7 em Marrakesh, Marrocos, sendo aprovados os Acordos de Marrakesh. O objetivo deste encontro consiste em finalizar aspectos operacionais do acordo alcançado em Bonn, além de obter consenso a respeito de determinados mecanismos de desenvolvimento limpo e atividades envolvendo *uso da terra e florestamento, denominadas Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)*. São abordadas também questões metodológicas, de comunicação e revisão de informações.

2002 – Em maio, a União Européia ratifica o Protocolo de Kyoto sendo seguida pelo Japão no mês de junho. Em agosto e setembro, ocorre a Cúpula das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável em Johannesburgo, África do Sul, tendo como pauta principal a implementação da Agenda 21. Entre 23 de outubro a 1º de novembro de 2002 é realizada em Nova Delhi, Índia, a COP 8 - Oitava Conferência das Partes da Convenção do Clima.

2003 – É realizada a COP 9 - Nona Conferência das Partes da Convenção do Clima em Milão, Itália, entre os dias 1º e 12 de dezembro de 2003. Diversas decisões são adotadas pelas Partes detalhando o funcionamento das atividades de projeto de florestamento, reflorestamento baseado no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), uso da terra e transformações do uso da terra e florestamento (LULUCF).

### **2.2.1 Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC): um marco decisivo para o estudo do clima**

A necessidade de formação de um painel intergovernamental baseou-se no reconhecimento da enorme complexidade do sistema climático, do elevado risco trazido pela mudança climática e da necessidade de uma fonte objetiva de informação técnica, científica e sócio-econômica sobre causas e impactos da mudança climática, assim como sobre as possíveis medidas de resposta, incluindo a comparação dos custos e benefícios da ação contra os danos da mudança climática (IPCC, 2000).

A criação do IPCC representou um marco histórico no desenvolvimento das iniciativas internacionais para mitigação do aquecimento global, pois forneceu os elementos científicos necessários e as bases para a criação futura da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC, ou *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC)).

O IPCC foi constituído por cientistas de diversos países e áreas de conhecimento, e organizado em três grupos de trabalho que atuam em três frentes distintas mas complementares, além de uma “força tarefa” sobre gases do efeito estufa. O primeiro grupo, conhecido como Working Group I (WG-I), estuda os aspectos científicos do sistema climático e da mudança climática. O segundo - *Working Group II* (WG-II) avalia a vulnerabilidade da humanidade e dos sistemas naturais às mudanças climáticas, suas consequências positivas e negativas e as opções para a adaptação necessária a estas consequências. O terceiro grupo ou *Working Group III* (WG-III) analisa as possibilidades de limitação de emissão de GEE e de mitigação da mudança climática e as consequências destas medidas do ponto de vista sócio-econômico (IPCC, 2000 apud PEREIRA et al., 2002).

Desde a sua criação, o IPCC tem produzido uma série de relatórios de diversos tipos (de Avaliação, Especiais, Técnicos, além de Suplementos). Dentre estes, destacam-se os Relatórios de Avaliação, ou *Assessment Reports*, que incluem um Sumário para os Tomadores de Decisão (*Summary for Policy - Makers*), cuja linguagem possibilita que sejam lidos por não especialistas. Ademais, são publicados nas seis línguas oficiais da Organização das Nações Unidas (ONU), quais sejam Árabes, Chineses, Ingleses, Franceses, Russos e Espanhóis.

Em 1990, o IPCC publicou o seu “Primeiro Relatório de Avaliação”, mais conhecido como “*First Assessment Report*”, afirmando que as mudanças climáticas representariam de fato uma ameaça à humanidade, conclamando pela adoção de um tratado internacional que direcionasse atuação sobre o problema. A divulgação deste documento causou grande repercussão no público em geral ao confirmar em bases científicas o risco trazido pela mudança climática (IPCC, 2000). Estes apelos foram repetidos pela Declaração Ministerial adotada na Segunda Conferência Mundial sobre o Clima, realizada em outubro do mesmo ano na cidade de Genebra. Em seu Segundo Relatório de Avaliação (SAR) publicado cinco anos depois, o IPCC sugere que “o balanço das evidências indica uma nítida influência do homem sobre o clima através das emissões de GEE”. E conforme o seu Terceiro Relatório de Avaliação (TAR), publicado no primeiro semestre de 2001, o IPCC afirma que “há novas e mais fortes evidências de que a maior causa do aquecimento global observado nos últimos 50 anos é atribuível às atividades humanas”.

### **2.2.2 A Importância da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**

A Assembléia Geral das Nações Unidas deu início formal ao processo de negociação para o estabelecimento de uma Convenção Quadro sobre Mudança do Clima, por intermédio de sua Resolução 45/212. Foi criado o Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção Quadro sobre Mudança do Clima (CIN/CQMC), responsável pela condução das negociações pelo estabelecimento dos instrumentos jurídicos necessários.

O CIN/CQMC autorizou então o Secretário Geral das Nações Unidas a convocar, com a ajuda do Diretor Executivo do PNUMA e do Secretário Geral da OMM, uma primeira reunião em fevereiro de 1991, em Washington D.C. . Segundo a Assembléia Geral, os trabalhos deveriam ser concluídos antes da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), marcada para junho de 1992 na cidade do Rio de Janeiro.

Através da CQNUMC, os países signatários criaram uma estrutura institucional capaz de fornecer continuidade ao desenvolvimento das iniciativas para mitigação do aquecimento global, no âmbito do qual vêm ocorrendo os processos de negociação dos instrumentos jurídicos internacionais necessários para que seja atingido o objetivo de estabilização dos níveis de concentração atmosférica dos gases do efeito estufa (GEE). Diversos órgãos e instituições integraram esta iniciativa tais como a Organização Meteorológica Mundial (OMM), o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), o Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção Quadro sobre Mudança do Clima (CIN/CQMC), a Conferência das Partes (COP), a Conferência das Partes como Reunião das Partes do Protocolo (COP/MOP); o Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico (SBSTA), o

Órgão Subsidiário de Implementação (SBI), o Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) e o Fundo Global para o Meio Ambiente, ou Global *Environmental Facility* (GEF), entre outros. Durante os 15 meses compreendidos entre maio de 1992 e a primeira reunião do CIN/CQMC, em fevereiro de 1991, representantes de mais de 150 países reuniram-se por cinco vezes para negociar o texto da convenção. Em 9 maio de 1992, o texto definitivo da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC) foi aprovado na Sede das Nações Unidas em Nova York (PACIORNICK; MACHADO FILHO, 2000, *apud* PEREIRA 2002). Alguns dias depois, no Rio-92 (conhecida também como “Cúpula da Terra”, *Earth Summit*, ou “Eco-92”), 154 países e a Comunidade Econômica Européia viriam firmar a Convenção que teve o Brasil como o primeiro país signatário (REI, 1997 *apud* PEREIRA 2002).

A CQNUMC entrou em vigor no dia 21 de março de 1994, 90 dias após o depósito da quinquagésima ratificação ter sido realizada em nível nacional, o que requer a aprovação pelo parlamento de cada país. No Brasil, a CQNUMC foi ratificada pelo Congresso em 28 de fevereiro de 1994 e entrou em vigor 90 dias após esta data, ou seja, em 29 de maio de 1994. Até meados do ano 2001, 186 países haviam se tornado partes da Convenção.

Entre a adoção da Convenção em 1992 e a realização da COP 1 em 1995, em Berlim, Alemanha, a sessão do CIN/CQMC permaneceu aberta e se reuniu por mais seis vezes. Nesta fase, foram publicados o Relatório Suplementar de 1992 do IPCC (1992 *Supplement*), que forneceu informações mais atualizadas e suplementares ao Primeiro Relatório de Avaliação do IPCC, as quais também foram utilizadas neste processo de negociação.

Além do CIN/CQMC, a Convenção estabeleceu uma série de instituições para governar, administrar e dar suporte ao processo contínuo de negociação das iniciativas para mitigação do aquecimento global, com ênfase para a Conferência das Partes.

A Conferência das Partes (COP) é o “órgão supremo” da Convenção, ou seja, a autoridade máxima para tomada de decisões. Ela é composta por todos os países que ratificaram a Convenção, sendo responsável pela sua implementação. Também deve examinar os compromissos das Partes à luz dos objetivos da Convenção, de novas descobertas científicas e da experiência obtida com a implementação de políticas direcionadas à mudança climática. Uma tarefa central para a COP, que se reúne anualmente, é a revisão das Comunicações Nacionais, obrigações descritas nos Artigos 4 e 12 da Convenção.

A Convenção também estabeleceu em seus Artigo 9 e 10, respectivamente, o Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico, conhecido amplamente pela sigla SBSTA (Subsidiary Body for Technological and Scientific Advice) e o Órgão Subsidiário de Implementação, conhecido como SBI (Subsidiary Body for Implementation).

Estes dois órgãos possuem mandatos específicos e prestam assessoramento a COP. O primeiro concentra suas atividades em questões científicas, tecnológicas e metodológicas relacionadas à Convenção, servindo como elo entre a informação fornecida por cientistas e entre a necessidade de direcionamento de políticas exigidas pela COP. Este órgão trabalha próximo ao IPCC, a quem pode e costuma requerer estudos específicos. O SBI ajuda no assessoramento e revisão da implementação da Convenção, desempenhando um papel crucial na análise das Comunicações Nacionais e dos Inventários de Emissão submetidos pelas Partes, fornecendo conselhos sobre o mecanismo financeiro e sobre questões orçamentárias e

administrativas. Estes órgãos ainda trabalham conjuntamente em questões inter-relacionadas, em geral relativas ao Protocolo de Kyoto e se reúnem pelo menos duas vezes por ano.

Quando a Convenção foi adotada, algumas providências possibilitaram a continuidade do funcionamento do CIN/CQMC, dentre estas o estabelecimento do Global Environmental Facility (GEF) como seu mecanismo financeiro interino, contrariando a vontade dos países em desenvolvimento. Este fundo de investimentos criado em 1990, estabelecido em conjunto pelo Banco Mundial, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), tem como objetivo financiar determinados projetos a serem implementados em países em desenvolvimento capazes de trazer benefícios ambientais globais, não apenas relacionados às mudanças climáticas, mas também à poluição e sobre-exploração de águas internacionais, à destruição da biodiversidade e à depleção da camada de ozônio. Em 1996, a COP 2 adotou um memorando detalhando os respectivos papéis e responsabilidades do GEF e em 1998 a COP 4 garantiu o GEF como mecanismo financeiro definitivo da Convenção, sujeitando porém esta decisão a revisões a serem realizadas a cada quatro anos.

O principal objetivo da Convenção consiste em estabelecer “[...] um processo de tomada de decisão coletiva entre as partes que irão negociar ações futuras” (ARROW et al., 1996, p. 57), reconhecendo a mudança do clima como “[...] uma preocupação comum da humanidade [...]”, propondo uma estratégia global “[...] para proteger o sistema climático para gerações presentes e futuras [...]” e para estabilizar “[...] as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático [...] [assegurando] que a produção de alimentos não seja ameaçada e que

permita ao crescimento econômico prosseguir de maneira sustentável...” (SECRETARIADO DA CONVENÇÃO, 1992, p.6, apud PEREIRA, 2002).

Um dos artigos da Convenção que merece destaque é o 3.1, que trata da equidade, que está vinculada diretamente ao princípio das responsabilidades comuns mas diferenciadas, e segundo o qual:

As partes devem proteger o sistema climático em benefício das gerações presentes e futuras da humanidade com base na equidade e em conformidade com suas responsabilidades comuns mas diferenciadas e respectivas capacidades. Em decorrência, as Partes países desenvolvidos devem tomar a iniciativa no combate à mudança do clima e a seus efeito (SECRETARIADO PERMANENTE DA CONVENÇÃO, 1992, p.6).

Devido ao seu pioneirismo nos processos de industrialização, e também nas mudanças no uso do solo, a maior parte das emissões antrópicas de CO<sub>2</sub> adveio (e ainda advém até hoje) de fontes localizadas nos países industrializados. De fato, segundo Parikh (1992, p.507, apud PEREIRA, 2000, p.28) “é bem sabido que das 5,6 bilhões de toneladas de carbono emitidas durante 1988, mais de 70% foram provenientes de países desenvolvidos (o Norte) [...]” e “[...] a participação do norte nas emissões acumuladas desde a revolução industrial é maior que 85%; portanto sua responsabilidade pelo efeito estufa é da mesma proporção”.

Coerentemente, a CQNUMC reconhece que “[...] a maior parcela das emissões globais, históricas e atuais, de gases de efeito estufa é originária dos países desenvolvidos, que as emissões per capita dos países em desenvolvimento ainda são relativamente baixas e que a parcela de emissões globais originárias dos países em desenvolvimento crescerá para que eles possam satisfazer suas necessidades sociais e de desenvolvimento” (SECRETARIADO PERMANENTE DA CONVENÇÃO, 1992, p. 2, apud PEREIRA, 2000. p. 28). Ao conjugar

as fortes suspeitas da interferência antrópica, sobretudo dos países industrializados, com o princípio da equidade e da responsabilidade comum mas diferenciada, a Convenção dividiu os países em dois grupos principais: o primeiro, composto pelos países listados em seu Anexo I e conhecido como Partes/Países Anexo I, ou simplesmente Anexo I, apresentado na Tabela 2; o segundo, composto por todos os demais países não listados em tal Anexo e conhecido de forma similar como Partes/Países Não Anexo I. O Anexo I da Convenção é integrado essencialmente pelos países pertencentes em 1992 à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômicos (OCDE), à União Econômica Européia e também pelas antigas repúblicas socialistas da União Soviética, que passam por processo de transição para economias de mercado (economias em transição).

Tabela 2 – Anexo I (Ratificado) a CQNUMC

1	Alemanha	22	Islândia
2	Austrália	23	Itália
3	Áustria	24	Japão
4	Bélgica	25	Letônia*
5	Bielo-Rússia*	26	Liechtenstein
6	Bulgária*	27	Lituânia*
7	Canadá	28	Luxemburgo
8	Comunidade Econômica Européia	29	Mônaco
9	Croácia*	30	Noruega
10	Dinamarca	31	Nova Zelândia
11	Eslováquia*	32	Países Baixos
12	Eslovênia*	33	Polônia*
13	Espanha	34	Portugal
14	Estados Unidos da América	35	Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte
15	Estônia*	36	República Tcheca*
16	Federação Russa*	37	Romênia*
17	Finlândia	38	Suécia
18	França	39	Suíça
19	Grécia	40	Turquia
20	Hungria*	41	Ucrânia*
21	Irlanda		

Observação: \* Países com economias em transição

Fonte: UNFCC

Esta divisão teve como objetivo separar em um grupo, o Anexo I, os principais países responsáveis pela causa do aquecimento global. Ao se tomar por base o ano de 1990, as emissões globais de CO<sub>2</sub> decorrente da queima de combustíveis fósseis, da produção hidráulica de cimento e da queima proposital (*flaring*) de gás natural deste grupo de países correspondiam a cerca de 63% das emissões globais destes setores de atividades (CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER, 2001). Entre os países do grupo mencionado, destacam-se os Estados Unidos da América (EUA), cujas emissões correspondiam a 34,5% das emissões totais do Anexo I naquele ano e a 21,6% das emissões mundiais (SECRETARIADO PERMANENTE DA CONVENÇÃO, 1992, apud PEREIRA, 2002). A Figura 5 ilustra a participação dos principais países emissores de CO<sub>2</sub> no ano de 1990.

## PAÍSES INTEGRANTES DO ANEXO I

### PARTICIPAÇÃO NAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> EM 1990

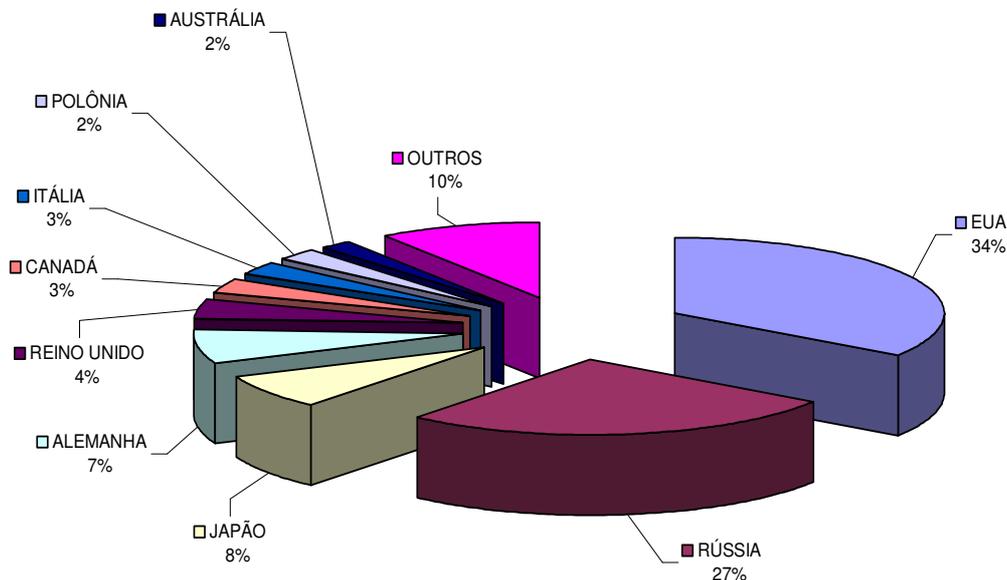


Figura 5 – Participação percentual dos países no total de emissões de CO<sub>2</sub> emitidas em 1990

Fonte: Carbon Dioxide Information Analysis Center, EUA (2001) transcrito de PEREIRA, 2002.

Portanto, ao diferenciar por países as responsabilidades comuns, a Convenção poderia estabelecer medidas também diferenciadas. Para tanto, faz ainda uma segunda classificação, que leva em consideração, além da responsabilidade de um país pelo problema, sua capacidade para prover assistência técnica e financeira aos países em desenvolvimento. São justamente as nações industrializadas, mais ricas e mais desenvolvidas em termos tecnológicos, as que têm esta capacidade e, portanto, são classificadas pela CQNUMC neste grupo, conhecido como Anexo II, que é um subconjunto do Anexo I. Com exceção das economias em transição, os países listados no Anexo I também são listados no Anexo II da Convenção e possuem a obrigação adicional de fornecer recursos tecnológicos e financeiros para ajudar países em desenvolvimento a promoverem medidas de mitigação, a se adaptarem aos impactos da mudança climática e a avaliarem suas vulnerabilidades específicas. A Tabela

3 apresenta os principais países emissores de dióxido de carbono, no segmento de energia, em 1990.

Tabela 3. – Maiores emissores de CO<sub>2</sub> em 1990 - setor energia

Parte Anexo I	Emissões CO <sub>2</sub> (mil toneladas CO <sub>2</sub> )	PARTICIPAÇÃO(%) sobre	
		total Anexo I	total global
EUA	4.819.166,00	34,50	21,62
RÚSSIA	3.708.734,33	26,55	16,61
JAPÃO	1.071.444,00	7,67	4,81
ALEMANHA	1.012.443,00	7,25	4,54
REINO UNIDO	563.647,33	4,04	2,53
CANADÁ	425.054,67	3,04	1,91
ITÁLIA	399.142,33	2,86	1,79
POLÔNIA	347.838,33	2,49	1,56
AUSTRÁLIA	266.203,67	1,91	1,19
OUTROS	1.354.931,67	9,70	6,08
<b>TOTAL ANEXO I</b>	<b>13.968.605,33</b>	100,00	62,66
<b>TOTAL NÃO ANEXO I</b>	<b>8.322.908,00</b>	-	37,34
<b>TOTAL</b>	<b>22.291.513,33</b>	-	100,00

Fonte: Carbon Dioxide Information Analysis Center, EUA (2001) transcrito de PEREIRA, 2002.

Cabe comentar a posição da Turquia que não ratificou a Convenção por discordar de sua inclusão no Anexo II, unicamente por ser país-membro da OCDE e por se considerar em verdade um país em desenvolvimento, sem condições, portanto, de assumir as responsabilidades deste grupo de países (PACIORNICK; MACHADO FILHO, 2000, apud PEREIRA, 2002) que são as maiores da Convenção. É por este motivo que seu nome consta do Anexo I da Convenção mas não do Anexo B do Protocolo (o Anexo B do Protocolo de

Kyoto inclui as Partes listadas no Anexo I Retificado da Convenção e exclui Turquia e Bielorrússia).

O Artigo 4 da Convenção confere a esta diferenciação um caráter de ordem prática, pois nele são estabelecidas obrigações diferenciadas às Partes, muitas das quais representadas por ações concretas. Em seu parágrafo 1º, são listadas, primeiramente, as obrigações comuns a todas as partes, diferenciadas, porém por suas responsabilidades e prioridades de desenvolvimento específicas, conforme reprodução citada a seguir:

Todas as Partes, levando em conta suas responsabilidades comuns mas diferenciadas e suas prioridades de desenvolvimento, objetivos e circunstâncias específicos, nacionais e regionais, devem:

- a) elaborar, atualizar periodicamente, publicar e por à disposição da Conferência das Partes, em conformidade com o Artigo 12, inventários nacionais de emissões antrópicas por fontes e das remoções antrópicas por sumidouros de todos os gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal, empregando metodologias comparáveis a serem acordadas pela Conferência das Partes;
- b) formular, implementar, publicar e atualizar regularmente programas nacionais e, conforme o caso, regionais, que incluam medidas para mitigar a mudança do clima, enfrentando as emissões antrópicas por fontes e remoções antrópicas por sumidouros de todos os gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal, bem como medidas para permitir adaptação adequada à mudança do clima;
- c) promover e cooperar para o desenvolvimento, aplicação e difusão, inclusive transferência, de tecnologias, práticas e processos que controlem, reduzam ou previnam as emissões antrópicas de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal em todos os setores pertinentes, inclusive nos setores de energia, transportes, indústria, agricultura, silvicultura e administração de resíduos;
- d) promover a gestão sustentável, bem como promover e cooperar na conservação e fortalecimento, conforme o caso, de sumidouros e reservatórios de todos os gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal, incluindo a biomassa, as florestas e os oceanos como também outros ecossistemas terrestres, costeiros e marinhos;
- e) cooperar nos preparativos para a adaptação aos impactos da mudança do clima; desenvolver e elaborar planos adequados e integrados para a gestão de zonas costeiras, recursos hídricos e agricultura, e para a proteção e recuperação de regiões, particularmente na África, afetadas pela seca e desertificação, bem como por inundações;
- f) levar em conta, na medida do possível, os fatores relacionados com a mudança do clima em suas políticas e medidas sociais, econômicas e ambientais pertinentes, bem como empregar métodos adequados, tais como avaliações de impactos, formulados e definidos nacionalmente, com vistas a minimizar os efeitos negativos na economia, na saúde pública e na qualidade do meio ambiente, provocados por projetos ou medidas aplicadas pelas Partes para mitigarem a mudança do clima ou a ela se adaptarem;
- g) promover e cooperar em pesquisas científicas, tecnológicas, técnicas, socioeconômicas e outras, em observações sistemáticas e no desenvolvimento de bancos de dados relativos ao sistema climático, cuja finalidade seja esclarecer e

reduzir ou eliminar as incertezas ainda existentes em relação às causas, efeitos, magnitude e evolução no tempo da mudança do clima e as conseqüências econômicas e sociais de diversas estratégias de resposta;

h) promover e cooperar no intercâmbio pleno, aberto e imediato de informações científicas, tecnológicas, técnicas, sócio-econômicas e jurídicas relativas ao sistema climático e à mudança do clima, bem como às conseqüências econômicas e sociais de diversas estratégias de resposta;

i) promover e cooperar na educação, treinamento e conscientização pública em relação à mudança do clima, e estimular a mais ampla participação nesse processo, inclusive a participação de organizações não governamentais e;

j) transmitir à Conferência das Partes informações relativas à implementação, em conformidade com o Artigo 12.”(SECRETARIADO PERMANENTE DA CONVENÇÃO, 1992, p.78, apud PEREIRA, 2002)”.

No parágrafo 2º, também reproduzido abaixo, são relacionadas outras obrigações, exclusivas dos países desenvolvidos e das demais partes listadas no Anexo I, dentre as quais destaca-se o compromisso de “adotar políticas destinadas a limitar suas emissões de gases de efeito estufa e proteger e aumentar seus sumidouros e reservatórios de gases de efeito estufa.

[...] e [fazer] retornar suas emissões aos níveis de 1990 até o final desta década [de 1990]

[...]” (MCT, 1999):

As Partes países desenvolvidos e demais Partes constantes do Anexo I se comprometem especificamente com o seguinte:

a) cada uma dessas Partes deve adotar políticas nacionais e medidas correspondentes para mitigar a mudança do clima, limitando suas emissões antrópicas de gases de efeito estufa e protegendo e aumentando seus sumidouros e reservatórios de gases de efeito estufa. Essas políticas e medidas demonstrarão que os países desenvolvidos estão tomando a iniciativa no que se refere a modificar as tendências de mais longo prazo das emissões antrópicas em conformidade com o objetivo desta Convenção, reconhecendo que contribuiria para tal modificação à volta, até o final da presente década, a níveis anteriores das emissões antrópicas de dióxido de carbono e de outros gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal; e levando em conta as diferentes situações iniciais e enfoques, estruturas econômicas e fontes de recursos dessas Partes, a necessidade de manter um crescimento econômico vigoroso e sustentável, as tecnologias disponíveis e outras circunstâncias individuais, bem como a necessidade de que cada uma dessas Partes contribua equitativa e adequadamente ao esforço mundial voltado para esse objetivo. Essas Partes podem implementar tais políticas e medidas juntamente com outras Partes e podem auxiliar essas outras Partes a contribuírem para que se alcance o objetivo desta Convenção e, particularmente, desta alínea;

b) a fim de promover avanço nesse sentido, cada uma dessas Partes deve apresentar, em conformidade com o Artigo 12, dentro de seis meses da entrada em vigor para si desta Convenção, e periodicamente a partir de então, informações pormenorizadas sobre as políticas e medidas a que se refere a alínea (a) acima, bem como sobre a projeção de suas emissões antrópicas residuais por fontes e de remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal no período a que se refere a alínea (a) acima...;

c) [...];

d) [...];

e) cada uma dessas Partes deve: i) coordenar-se, conforme o caso, com as demais Partes indicadas a respeito de instrumentos econômicos e administrativos pertinentes visando a alcançar o objetivo desta Convenção; e ii) identificar e examinar periodicamente suas próprias políticas e práticas que possam estimular atividades que levem a níveis de emissões antrópicas de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal mais elevados do que normalmente ocorreriam;

f) a Conferência das Partes deve examinar, no mais tardar até 31 dezembro de 1998, informações disponíveis com vistas à adoção de decisões, caso necessário, sobre as emendas às listas dos Anexos I e II, com a aprovação da Parte interessada;

g) qualquer Parte não incluída no Anexo I pode, em seu instrumento de ratificação, aceitação, aprovação ou adesão, ou posteriormente, notificar o Depositário de sua intenção de assumir as obrigações previstas nas alíneas (a) e (b) acima. O Depositário deve informar os demais signatários e Partes de tais notificações". (SECRETARIADO PERMANENTE DA CONVENÇÃO, 1992, p.8.10, apud PEREIRA, 2002).

Este último item abre a possibilidade que Partes Não Anexo I adotem, desde que de forma voluntária, limites para a emissão de gases de efeito estufa. Esta possibilidade tornou-se conhecida como comprometimento voluntário ou *voluntary agreement*, e tem sido debatida de forma acirrada. Este item g do Artigo 2, representa, pois, uma brecha jurídica através da qual as Partes Não Anexo I podem, por vontade própria ou pressão externa, assumir em algum momento os mesmos compromissos das Partes Anexo I.

Já as obrigações exclusivas dos países listados no Anexo II estão relacionadas nos parágrafos 3, 4 e 5 do Artigo 4, que tratam, entre outros aspectos, da transferência de recursos tecnológicos e financeiros para países em desenvolvimento necessários para que estes possam arcar com os custos de mitigação e adaptação aos efeitos adversos da mudança do clima:

As Partes países desenvolvidos e demais Partes desenvolvidas incluídas no Anexo II devem prover recursos financeiros novos e adicionais para cobrir integralmente os custos por elas concordados incorridos por Partes países em desenvolvimento no cumprimento de suas obrigações previstas no Artigo 12, parágrafo 1. Também devem prover os recursos financeiros, inclusive para fins de transferência de tecnologias, de que necessitam as Partes países em desenvolvimento para cobrir integralmente os custos adicionais por elas concordados decorrentes da implementação de medidas previstas no parágrafo 1 deste Artigo e que sejam concordados entre uma Parte país em desenvolvimento e a entidade ou entidades internacionais a que se refere o Artigo 11, em conformidade com esse Artigo. Para o cumprimento desses compromissos deve ser levada em conta a necessidade de que o fluxo de recursos seja adequado e previsível e a importância de distribuir os custos entre as Partes países desenvolvidos.

As Partes países desenvolvidos e demais Partes desenvolvidas incluídas no Anexo II devem também auxiliar as Partes países em desenvolvimento, particularmente vulneráveis aos efeitos negativos da mudança do clima, a cobrirem os custos de sua adaptação a esses efeitos negativos.

As Partes países desenvolvidos e outras Partes desenvolvidas incluídas no Anexo II devem adotar todas as medidas possíveis para promover, facilitar e financiar, conforme o caso, a transferência de tecnologias e de conhecimentos técnicos ambientalmente saudáveis, ou o acesso aos mesmos, a outras Partes, particularmente às Partes países em desenvolvimento, a fim de capacitá-las a implementar as disposições desta Convenção. Nesse processo, as Partes países desenvolvidos devem apoiar o desenvolvimento e a melhoria das capacidades e tecnologias endógenas das Partes países em desenvolvimento. Outras Partes e organizações que estejam em condições de fazê-lo podem também auxiliar a facilitar a transferência dessas tecnologias” (SECRETARIADO PERMANENTE DA CONVENÇÃO, 1992, p.10.11, apud PEREIRA, 2002).

### **2.2.3 O Protocolo de Kyoto**

Procurando atingir o objetivo final da Convenção, no sentido de possibilitar alcançar a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível que não interfira perigosamente no sistema climático, o Protocolo de Kyoto estabelece metas e prazos para controlar num primeiro esforço quatro gases: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), acompanhados por duas famílias de gases, hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs).

A Convenção-Quadro das Nações Unidas para a Mudança do Clima (CQNUMC), assinada no Rio 92 por 175 países mais a União Européia, ratifica a preocupação com o aquecimento global. Ela estabeleceu um regime jurídico internacional para atingir o objetivo principal de alcançar a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático. Os riscos são grandes demais para serem ignorados, e os governos dos países estão negociando limitações e cortes na emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera (MCT, 1999).

Uma revisão interessante é encontrada em LOPES (2002), sendo descrita neste capítulo. Conforme esta autora, embora não defina a forma de atingir esse objetivo, a CQNUMC estabelece mecanismos que dão continuidade ao processo de negociação em torno dos instrumentos necessários para que esse objetivo seja alcançado. Em seqüência à CQNUMC e observados seus princípios, foi adotado em dezembro de 1997, o Protocolo de Kyoto.

O Protocolo, firmado para atingir o objetivo primordial da CQNUMC, estabelece metas para que as emissões antrópicas de gases formadores do efeito estufa sejam reduzidas em 5,0%, na média, com relação aos níveis verificados no ano de 1990.

Essas metas são diferenciadas entre as Partes, em consonância com o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas, adotado pela CQNUMC e deverão ser atingidas no período compreendido entre 2008 e 2012, primeiro período de compromisso. As citadas metas foram atribuídas exclusivamente às Partes relacionadas no Anexo I da Convenção, as chamadas Partes Anexo I, que assumiram um certo número de compromissos exclusivos, em função de suas responsabilidades históricas. Às Partes Anexo I coube a iniciativa de modificação da tendência de longo prazo das emissões antrópicas e a volta aos níveis de 1990. Os países que não possuem meta de redução são, em geral, países em desenvolvimento chamados Partes Não Anexo I. O Protocolo de Kyoto estabeleceu, ainda, como complementação às medidas e políticas domésticas das Partes Anexo I, mecanismos adicionais de implementação permitindo que a redução das emissões e/ou o aumento da remoção de CO<sub>2</sub> pelas Partes Anexo I sejam, em parte, obtidos além de suas fronteiras nacionais.

Os mecanismos adicionais de implementação incluem, além do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), a Implementação Conjunta e o Comércio de Reduções Certificadas de Emissões. Dentre estes mecanismos, o MDL é o único que permite a participação de países em desenvolvimento, como o Brasil. O Protocolo de Kyoto, bem como os mecanismos adicionais citados, mais especificamente, o MDL, necessitavam de regulamentação complementar a qual foi objeto dos Acordos de Marrakesh, firmados em novembro de 2001, durante a Sétima Sessão da Conferência das Partes da Convenção, ou simplesmente COP-7. É importante ressaltar que o MDL deriva de uma proposta brasileira.

Conforme já mencionado, para que o Protocolo de Kyoto entre em vigor é necessária sua ratificação, aceitação, aprovação ou adesão, por (i) pelo menos, 55 Partes da CQNUMC e (ii) por Partes incluídas no Anexo I, que contabilizem juntas pelo menos 55% da quantidade total de dióxido de carbono equivalente emitida por essas partes em 1990. A Figura 6 resume a situação atual (novembro de 2003) de atendimento às exigências requeridas para entrada em vigor do Protocolo de Kyoto. Observa-se que 120 países (partes) já ratificaram o documento e, entre estes, 44% das emissões de CO<sub>2</sub> dos países desenvolvidos já estão representadas. Para satisfazer a segunda condição e atingir o limite mínimo de emissões, há necessidade dos Estados Unidos (emissão de 36%) ou da Rússia (emissão de 17%) ratificar o acordo. Portanto, não há como o Protocolo entrar em vigor sem a anuência de pelo menos um destes países.

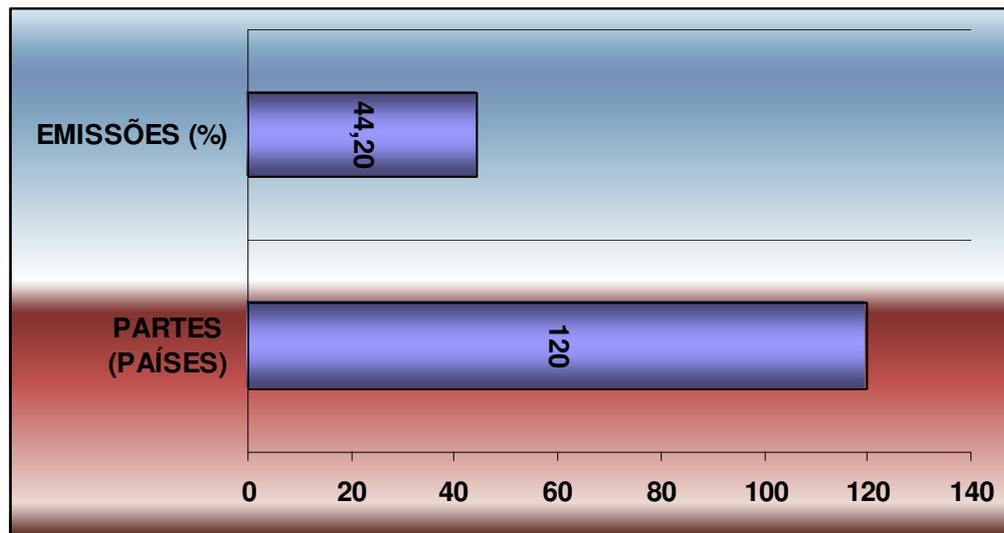


Figura 6 – Status das exigências requeridas para vigorar o Protocolo de Kyoto  
 Fonte: adaptado de <http://unfccc.int/resource/kpthermo.html> - Kyoto Thermometer (novembro de 2003)

### 2.2.3.1 Críticas ao Protocolo de Kyoto

A avaliação do impacto real da atividade antrópica sobre o efeito estufa despertou vários debates ao longo da última década, devido a existência de algumas incertezas no âmbito científico. Algumas hipóteses ainda relacionam o aquecimento global a um fenômeno exclusivamente natural justificando, entre outros aspectos, que a Terra já passou por grandes variações naturais de temperatura, sendo possível que o aquecimento global resulte de transformações características da própria evolução do planeta. Nesta linha de pensamento, as temperaturas médias da Terra nunca foram as mesmas, sendo estas variações atribuídas a diversos fatores naturais tais como radiação solar, perturbações no movimento de translação do planeta e atividade vulcânica.

Patrick J. Michaels (1998), professor de Ciências Ambientais da Universidade de Virgínia, defende que as previsões catastróficas do aquecimento global são equivocadas pois

os dados que originaram tais conclusões se baseiam em um período de tempo muito curto.

Entre outros argumentos, apresentados ao congresso americano, ele alega que:

a) as previsões do modelo climático adotado pela CQNUMC, de acordo com as expectativas originais, indicam variações diversas vezes abaixo do esperado;b) a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera está crescendo a uma taxa menor que a expectativa dos cenários projetados pelas Nações Unidas porque uma parcela do gás estaria sendo absorvida pelo crescimento vegetal (Hansen et al., 1998);

b)a concentração de metano não deverá crescer de forma apreciável no próximos 100 anos;

c) os efeitos do aquecimento global causados pelo CO<sub>2</sub> eram superestimados (MYHRE et al., 1998).

Ele ainda sugere uma revisão das necessidades de controle de emissões de GEE por parte das Nações Unidas e, conseqüentemente, sobre o Protocolo de Kyoto. Porém, a partir dos dados científicos divulgados em julho de 2001 pelo IPCC no seu relatório de mudanças climáticas, escritos com o consenso de centenas de cientistas de todo o mundo, estas e outras críticas tem diminuído bastante diante das evidências apresentadas.

Atualmente, observa-se uma clara posição política dos Estados Unidos contrários à assinatura do Protocolo de Kyoto pressionando outros países, como é o caso da Rússia, a fazer o mesmo. A atual administração americana tem se afastado dos compromissos ambientais assumidos pela administração anterior, deixando sinais que a não ratificação do Protocolo deve-se aos interesses políticos, econômicos e estratégicos do país. O principal argumento para a rejeição ao Protocolo tem sido o alto impacto que as reduções na emissão de gases de efeito estufa teriam na economia norte-americana. Boa parte da geração de energia consumida no país é baseada na queima de carvão, assim como o aquecimento das casas é baseado na queima de combustíveis fósseis. Além disso, o país tem uma das maiores taxas de número de veículos por habitante, com alta liberação de gases pela frota automobilística.

Barrett; Stavins (2002) criticam o Protocolo de Kyoto caracterizando-o em quatro elementos estruturais: (i) metas rigorosas de redução dos GEE em curto prazo, mas ausência de metas a longo prazo; (ii) responsabilidade integral dos países desenvolvidos; (iii) ausência de instrumentos efetivos capazes de promover o comprometimento e a participação dos envolvidos; e (iv) flexibilidade relativa para adequação das metas, através do uso de mecanismos de mercado como, por exemplo, o sistema de venda de emissões certificadas.

Entretanto, alguns sinais aparentemente contrários têm sido observados e indicam que pressões internas e externas podem levar à adoção de medidas efetivas de combate ao efeito estufa em território americano, independentemente do Protocolo de Kyoto, destacando-se os seguintes:

- a) o governo americano injeta recursos vultuosos para desenvolver fontes renováveis de energia, desenvolvendo projetos autônomos de redução das emissões de gases, tendo enviado ao Congresso o plano denominado Céu Limpo e Iniciativas sobre Mudanças Climáticas Globais, considerado a mais agressiva iniciativa norte-americana para cortar as emissões na geração de energia (o plano inclui corte de 18%, em um prazo de dez anos, da emissão de gases que causam o efeito estufa e a redução drástica, mas gradual, da emissão de três gases - dióxido de enxofre em 73%; os óxidos de nitrogênio em 67%; e as emissões de mercúrio em 69%);
- b) através de iniciativas locais, como a da Assembléia Legislativa do Estado da Califórnia, observa-se o surgimento de lei exigindo cortes dramáticos na emissão de CO<sub>2</sub> por parte dos automóveis;
- c) a agência US-EPA desenvolve o programa denominado EPA Climate Leaders Goals destinado a promover e reconhecer os esforços assumidos pelas corporações

para redução de emissões de GEE, bem como padronizar os relatórios de inventários de emissões e os registros colhidos nos diversos estados americanos;

- d) autoridades científicas que ocupam posições técnicas e burocráticas no governo americano, em sua maioria, aceitam os pareceres do IPCC, relacionando fortes evidências entre a ação humana e o aquecimento global;
- e) as discussões e manifestações contrárias a assinatura do Protocolo deixam claro que os americanos aceitam os mecanismos desenvolvidos para determinação de inventários de emissões, assim como os critérios estabelecidos para comercialização de certificados de redução de emissões.

Jeffrey A. Frankel (Harpel Chair of Capital Formation and Growth, Universidade de Harvard e ex-membro do President's Council of Economic Advisers) previu em 2000 que o Protocolo de Kyoto jamais será ratificado, devido às inúmeras diferenças de interesses existentes entre os Estados Unidos e os países em desenvolvimento, assim como entre os Estados Unidos e a União Européia. No entanto, ele afirma que haverá um outro acordo posterior que abordará adequadamente o tratamento das mudanças climáticas globais e espera que este mantenha as boas sugestões contidas em Kyoto como, por exemplo, a possibilidade de comércio de reduções certificadas de emissões.

Portanto, apesar de contrário ao Protocolo, o governo americano reconhece as causas do efeito estufa decorrentes das atividades humanas, registradas pelo IPCC. A iniciativa americana parece buscar alternativas para transformar o atual padrão de vida e consumo da sua população em ações de menor impacto através da implantação de novas tecnologias que

possam diminuir as emissões dos GEE sem, contudo, afetar o atual nível de conforto. De certa forma, este conceito aparece no texto encaminhado ao Congresso no plano Céu Limpo de onde foi transcrita a seguinte informação:

Enquanto os investimentos na ciência que estão sendo feitos hoje melhoram nosso entendimento do desafio de agir seriamente frente às dúvidas da ciência, nossos investimentos no setor de energia e nas tecnologias para o seqüestro de gases vão nos prover o atalho para reduzir as nossas emissões em um longo período.

#### ***2.2.3.2 O Comércio de Reduções Certificadas de Emissões de Gases do Efeito Estufa***

Uma revisão atual das condições do comércio de emissões é feita por Guimarães (2003). Independentemente das indefinições relativas ao Protocolo de Kyoto, uma estimativa elaborada pelo Banco Mundial indica um crescente aumento no volume de emissões, ou créditos de carbono, transacionado. Este mercado atingiu em 2003 um volume de 70 milhões de toneladas-equivalentes de CO<sub>2</sub> (1 tonelada-equivalente de gás carbônico corresponde a 1 crédito de carbono), contra 30 milhões de toneladas em 2002 e 13 milhões de toneladas em 2001.

As indefinições e falta de regras de como o mercado irá se comportar têm ainda interferido no valor do crédito de carbono transacionado, com variação de US\$ 3,00 a US\$ 15,00 por tonelada de emissão reduzida. Por outro lado, a principal razão para o movimento ascendente do mercado refere-se a uma posição firme por parte dos países da comunidade européia de adotar medidas para controlar a emissão de gases de efeito estufa, à semelhança do Protocolo de Kyoto. Até o final de março de 2004, uma relação de 14.000 empresas sediadas na Europa, líderes em emissões de GEE, receberá limites de emissão. A partir de 2005, caso estas empresas venham a ultrapassar o limite estabelecido, receberão uma multa de

€ 40,00 por tonelada de CO<sub>2</sub> emitida em excesso. A partir de 2008, essa multa passará a valer € 100,00 por tonelada de CO<sub>2</sub> emitida em excesso. A legislação europeia prevê o comércio de reduções certificadas de emissões nos moldes estabelecidos pelo Protocolo de Kyoto pois, no momento, esta parece ser a única alternativa economicamente viável para inúmeras indústrias atingirem suas respectivas cotas. Nesta lista de empresas, é razoável prever a existência de inúmeras corporações americanas que atuam em solo europeu, as quais estarão se adequando a esta legislação compulsoriamente.

À parte da iniciativa da Comunidade Europeia, são aguardadas medidas semelhantes por parte do Japão e do Canadá. Nos Estados Unidos, empresas voluntariamente se uniram para formar a Chicago Climate Exchange (CCX), uma bolsa de comércio de créditos de carbono.

Para se ter uma idéia, estimativa feita pela consultoria Point Carbon prevê que o mercado de créditos de carbono deverá valer US\$ 10 bilhões em 2007. Grande parte deste valor deverá ser transacionada dentro da comunidade europeia. O restante deverá ser distribuído entre operações envolvendo créditos de empresas japonesas e canadenses e do MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - que são créditos gerados em países pobres e em desenvolvimento, como o Brasil.

Portanto, independentemente do Protocolo de Kyoto entrar em vigor, do ponto de vista da criação de um mercado direcionado ao comércio de emissões certificadas de GEE, um passo significativo já foi dado. Como resultado desta situação, pode-se esperar uma ação efetiva para redução de emissões direcionada ao controle do aquecimento global causado pela ação antrópica.

#### **2.2.4 Oportunidades e Desafios para o Brasil no Âmbito do Protocolo de Kyoto**

Organizações não governamentais brasileiras e a comunidade acadêmica vem manifestando necessidade crescente de ampliar o debate fazendo-o de tal modo que permita uma interação cada vez maior dos diversos atores sociais, aumentando a consciência da sociedade sobre os desafios que o tema de mudanças climáticas traz, quer em termos de oportunidades, a se traduzirem pela potencial transferência de recursos para o país mediante o MDL, quer em termos da necessidade de preparar o país para eventuais efeitos adversos em algumas de suas regiões.

Para os países em desenvolvimento, como o Brasil, o estímulo proveniente desse mercado se concentrará nas atividades de projeto elegíveis e realizadas no âmbito do MDL. Apesar da possibilidade de investimentos originados nos próprios países (projetos unilaterais), espera-se que boa parte do investimento destinado às atividades de projeto do MDL venha do exterior, fomentando o investimento externo direto. Uma estimativa conservadora da ordem de grandeza do impacto econômico de medidas para mitigar a mudança global do clima é de 1,3% do produto interno bruto do mundo.

O Brasil já possui um Inventário Nacional dentro dos moldes estabelecidos pela CQNUMC. No âmbito interno, estas iniciativas vêm sendo coordenadas pelo MCT em conjunto com diversas instituições e especialistas dos setores energético, industrial, florestal, agropecuário e de tratamento de resíduos, localizados em todas as regiões do país.

O processo de elaboração do inventário tem proporcionado uma ampla capacitação das instituições participantes e segue métodos definidos pelo IPCC, quando estes são aplicáveis ao caso específico do Brasil (MCT, 1999). Neste sentido, encontra-se aprovada a Resolução nº 1/2003 da Comissão Interministerial da Mudança Global do Clima representando um modelo operacional destinado a facilitar o acesso às atividades de projeto elegíveis ao MDL, de forma a estimular investidores brasileiros e estrangeiros a participarem, ativamente, das oportunidades propiciadas por esse mecanismo.

### **2.2.5 O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**

O propósito do MDL é prestar assistência às Partes Não Anexo I da CQNUMC para que viabilizem o desenvolvimento sustentável através da implementação da respectiva atividade de projeto e contribuam para o objetivo final da Convenção e, por outro lado, prestar assistência às Partes Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões de gases de efeito estufa. O objetivo final de mitigação de gases de efeito estufa é atingido através da implementação de atividades de projeto nos países em desenvolvimento que resultem na redução da emissão de gases de efeito estufa ou no aumento da remoção de CO<sub>2</sub>, mediante investimentos em tecnologias mais eficientes, substituição de fontes de energia fósseis por renováveis, racionalização do uso da energia, florestamento e reflorestamento, entre outras.

Para efeitos do MDL, entende-se por atividades de projeto a atividade integrante de um empreendimento que tenham por objeto a redução de emissões de gases de efeito estufa e/ou a remoção de CO<sub>2</sub>, decorrentes de processos antrópicos geradores destes gases,

exemplificados na Tabela 4. As atividades de projeto devem estar exclusivamente relacionadas a determinados tipos de gases de efeito estufa e aos setores/fontes de atividades responsáveis pela maior parte das emissões, conforme previsto no Anexo A do Protocolo de Kyoto.

Tabela 4. – Processos antrópicos emissores de gases de efeito estufa

Energia	Processos Industriais	Agricultura	Resíduos
CO <sub>2</sub> - CH <sub>4</sub> - N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> - N <sub>2</sub> O - HFCs - PFCs - SF <sub>6</sub>	CH <sub>4</sub> - N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub> - CO <sub>2</sub> *
Queima de combustível Setor energético Indústria de transformação Indústria de construção Transporte Outros setores Emissões Fugitivas de Combustíveis Combustíveis sólidos Petróleo e gás natural	Produtos minerais Indústria química Produção de metais Produção e consumo de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre Uso de solventes Outros	Fermentação entérica Tratamento de dejetos Cultivo de arroz Solos agrícolas Queimadas de resíduos agrícolas	Disposição de resíduos sólidos Tratamento de esgoto sanitário Tratamento de efluentes líquidos Incineração de resíduos (CO <sub>2</sub> )

\* Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reporting Instructions.

Fonte: adaptado de LOPES (2002)

Podem participar de uma atividade de projeto do MDL as chamadas Partes Anexo I, Partes Não Anexo I ou entidades públicas e privadas dessas Partes, desde que por elas devidamente autorizadas.

Atividades de projeto do MDL podem ser implementadas por meio de parcerias com o setor público ou privado. O setor privado tem grande oportunidade de participação, pois o potencial para reduzir emissões nesse segmento é significativo. Além disso, é receptor de fluxos crescentes de investimentos que podem ser destinados a atividades de projeto do MDL, que é um mecanismo de mercado concebido para ter sua ativa participação.

Para que sejam consideradas elegíveis no âmbito do MDL, as atividades de projeto devem contribuir para o objetivo primordial da Convenção e observar alguns critérios fundamentais, entre os quais o da adicionalidade, pelo qual uma atividade de projeto deve, comprovadamente, resultar na redução de emissões de gases de efeito estufa e/ou remoção de CO<sub>2</sub>, adicional ao que ocorreria na ausência da atividade de projeto do MDL. Outro requisito do MDL é que a atividade de projeto contribua para o desenvolvimento sustentável do país no qual venha a ser implementada. Deve, ainda, ser capaz de demonstrar benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados com a mitigação da mudança do clima.

As quantidades relativas a reduções de emissão de gases de efeito estufa e/ou remoções de CO<sub>2</sub> atribuídas a uma atividade de projeto resultam em Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), medidas em tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente.

No caso de atividades de projetos relacionadas com a remoção de CO<sub>2</sub> foi criado um processo de regulamentação no âmbito da Decisão 17/ CP.7 para desenvolver definições e modalidades de inclusão das atividades de projetos relacionadas com florestamento e reflorestamento no MDL, únicas atividades permitidas pelo Acordo de Marrakesh. Esse processo, realizado pelo Órgão Subsidiário de Assessoramento Científico e Tecnológico, concluiu seus trabalhos durante a COP- 9, realizada em Milão, Itália, em dezembro de 2003. No âmbito desse trabalho, deverá ser definida a unidade a ser atribuída às remoções de CO<sub>2</sub>, podendo ser RCE ou outra unidade específica, a ser definida durante os trabalhos.

Uma unidade de RCE é igual a uma tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente, calculada de acordo com o Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential* - GWP), índice divulgado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática

(*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) e utilizado para uniformizar as quantidades dos diversos gases de efeito estufa em termos de dióxido de carbono equivalente, possibilitando que reduções de diferentes gases sejam somadas. O GWP que deve ser utilizado para o primeiro período de compromisso (2008-2012) é o publicado no Segundo Relatório de Avaliação do IPCC.

As RCEs representam créditos que podem ser utilizados pelas Partes Anexo I – que tenham ratificado o Protocolo de Kyoto – como forma de cumprimento parcial de suas metas de redução de emissão de gases de efeito estufa. As vantagens para o participante estrangeiro traduzem-se na possibilidade de cumprimento parcial de suas metas de redução a um custo marginal relativamente mais baixo.

A perspectiva do Protocolo de Kyoto entrar em vigor estimula a adoção de políticas e medidas pelas Partes Anexo I com objetivo de promover, de várias formas, a redução de emissões de gases de efeito estufa e/ou a remoção de CO<sub>2</sub>, em cumprimento aos compromissos de cada Parte. Os mecanismos adicionais de implementação vão estimular o desenvolvimento de um novo mercado internacional – cuja mercadoria é constituída pelas reduções certificadas de emissões de gases de efeito estufa e/ou remoções de CO<sub>2</sub>.

As Partes que possuem compromissos e metas de redução, Partes Anexo I, deverão ser os principais participantes, pelo lado da demanda, desse mercado. No caso específico do MDL, os países em desenvolvimento deverão desempenhar um papel significativo nesse mercado, sobretudo na oferta de reduções de emissões de gases de efeito estufa e/ou remoções de CO<sub>2</sub>.

Quanto à destinação das Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), Partes Anexo I podem demandar RCEs para auxiliar no cumprimento de suas metas de redução de gases de efeito estufa atuais ou futuras. Os participantes de atividades de projeto podem ter como objetivo a comercialização / revenda das RCEs com a expectativa de valorização futura e realização de lucros, em função da demanda pelas Partes que possuem compromissos de redução de emissões.

As ONGs podem ter como objetivo a aquisição de RCEs sem objetivo de revenda, retirando-as simplesmente do mercado, com fins estritamente ambientais.

As Partes Não Anexo I, que tiverem ratificado o Protocolo de Kyoto, poderão participar, voluntariamente, de atividades de projeto no âmbito do MDL. No caso específico das Partes Anexo I, somente serão elegíveis para a participação em atividades de projeto MDL aquelas que tenham:

- a) suas quantidades atribuídas devidamente calculadas e registradas;
- b) um sistema contábil nacional para gases de efeito estufa em vigor;
- c) criado um Registro Nacional; e
- d) enviado o Inventário Nacional de gases de efeito estufa à CQNUMC.

Para utilização de RCEs, no cumprimento parcial de suas metas de redução ou limitação de emissões, as Partes Anexo I, além dos critérios acima, deverão ter ratificado o Protocolo de Kyoto. Atividades de projeto implementadas em Partes Não Anexo I, iniciadas a partir de 1º. de janeiro de 2000, podem ser elegíveis no âmbito do MDL.

### 2.2.6 Certificados de Redução de Emissões

As atividades de projeto de redução de emissões serão elegíveis para o MDL desde que atendam aos seguintes requisitos:

- a) a participação seja voluntária;
- b) contem com a aprovação do país no qual essas atividades forem implementadas;
- c) atinjam os objetivos de desenvolvimento sustentável definidos pelo país no qual as atividades de projeto forem implementadas;
- d) reduzam as emissões de gases de efeito estufa de forma adicional ao que ocorreria na ausência da atividade de projeto do MDL;
- e) contabilizem o aumento de emissões de gases de efeito estufa que ocorrem fora dos limites das atividades de projeto e que sejam mensuráveis e atribuíveis a essas atividades;
- f) levem em consideração a opinião de todos os atores (público, incluindo os indivíduos, os grupos e as comunidades afetadas ou com possibilidade de ser afetadas pela atividade de projeto do MDL) que sofrerão os impactos das atividades de projeto e que deverão ser consultados a esse respeito;
- g) não causem impactos colaterais negativos ao meio ambiente local;
- h) proporcionem benefícios mensuráveis, reais e de longo prazo relacionados com a mitigação da mudança do clima;
- i) estejam relacionadas aos gases e setores definidos no Anexo A do Protocolo de Kyoto ou se refiram às atividades de projetos de reflorestamento e florestamento (no âmbito do MDL, as definições e as modalidades de reflorestamento e de florestamento para o primeiro período de compromisso deverão ser desenvolvidas de modo a considerar as questões de não-permanência, adicionalidade, fuga,

incertezas e impactos sócio-econômicos e ambientais, inclusive nesse caso, os impactos sobre a biodiversidade e os ecossistemas naturais).

Acrescente-se que o financiamento público para atividades de projeto do MDL das Partes Anexo I não deve ocasionar desvio da assistência oficial para o desenvolvimento, deve ser distinto e não contar como parte das obrigações financeiras assumidas junto à Convenção por essas Partes.

Recomenda-se, ainda, que Partes Anexo I se abstenham da utilização de RCEs geradas a partir de tecnologia nuclear. É possível transferir quantidades de RCEs para períodos futuros de compromisso, observado o limite, para o primeiro período de compromisso, de 2,5% das quantidades atribuídas a cada Parte Anexo I.

Para que resultem em RCEs, as atividades de projeto do MDL devem, necessariamente, passar pelas etapas do Ciclo do Projeto, quais sejam:

- a) elaboração do Documento de Concepção do Projeto - DCP;
- b) validação/aprovação;
- c) registro;
- d) monitoramento;
- e) verificação/certificação;
- f) missão e aprovação das RCEs.

## **2.2.7 Projetos de Abatimento e Seqüestro de Carbono**

### ***2.2.7.1 Elaboração do Documento de Concepção do Projeto***

Uma revisão interessante da descrição das atividades de projeto e dos respectivos participantes encontra-se em Lopes (2002). O Documento de Concepção do Projeto (DCP) deverá incluir: (i) a descrição do método usado no cálculo da “linha de base”, (ii) os métodos de cálculo da redução de emissões de gases de efeito estufa, para o estabelecimento dos limites das atividades de projeto e para o cálculo das fugas. Deve ainda conter (iii) a definição do período de obtenção de créditos, um plano de monitoramento, (iv) a justificativa para adicionalidade a atividade de projeto, (v) relatório de impactos ambientais, (vi) comentários dos atores e (vii) informações quanto à utilização de fontes adicionais de financiamento.

### ***2.2.7.2 Método da Linha de Base das Atividades de Projeto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo***

A linha de base *baseline* de uma atividade de projeto do MDL é o cenário que representa, de forma razoável, as emissões antrópicas de gases de efeito estufa por fontes que ocorreriam na ausência da atividade de projeto proposta, incluindo as emissões de todos os gases, setores e categorias de fontes, listados no Anexo A do Protocolo de Kyoto, que ocorram dentro do limite do projeto. Serve de base tanto para verificação da adicionalidade quanto para a quantificação das RCEs decorrentes das atividades de projeto do MDL.

As RCEs serão calculadas justamente pela diferença entre as emissões da linha de base e as emissões verificadas em decorrência das atividades de projeto do MDL, incluindo as fugas. A linha de base é qualificada e quantificada com base em um Cenário de Referência.

Para estabelecer a linha de base de atividade de projeto do MDL, os participantes devem adotar, entre as abordagens metodológicas abaixo listadas, a que for considerada mais apropriada para a atividade de projeto, levando em conta qualquer orientação do Conselho Executivo, e justificar a adequação de sua escolha:

- a) emissões *status quo*: emissões atuais ou históricas existentes, conforme o caso;
- b) condições de mercado: emissões de uma tecnologia reconhecida e economicamente atrativa, levando em conta as barreiras para o investimento;
- c) melhor tecnologia disponível: a média das emissões de atividades de projeto similares realizadas nos cinco anos anteriores à elaboração do documento de projeto, em circunstâncias sociais, econômicas, ambientais e tecnológicas similares, e cujo desempenho esteja entre os primeiros 20% (vinte por cento) de sua categoria.

Os participantes de uma atividade de projeto do MDL poderão, de forma alternativa, propor novas abordagens metodológicas, o que, no entanto, dependerá de aprovação pelo Conselho Executivo.

### ***2.2.7.3 Método de Cálculo***

Para avaliar as emissões relativas às atividades de projeto do MDL, o método de cálculo deve conter:

- a) descrição das fórmulas utilizadas para calcular e estimar as emissões antrópicas de gases de efeito estufa da atividade de projeto do MDL, por fontes, dentro do limite do projeto; e, descrição das fórmulas utilizadas para calcular e projetar as fugas. O resultado desses cálculos representa as emissões da atividade de projeto do MDL:
- para o cálculo de emissões da linha de base;
- b) descrição das fórmulas utilizadas para calcular e projetar as emissões antrópicas de gases de efeito estufa da linha de base por fontes; e, descrição das fórmulas utilizadas para calcular e projetar as fugas. O resultado desses cálculos representa as emissões da linha de base.

A diferença entre os resultados obtidos através dos cálculos de (a) e (b) representa as reduções de emissões das atividades de projeto do MDL.

#### *2.2.7.4 Limite do Projeto*

O limite do projeto abrange todas as emissões de gases de efeito estufa, sob controle dos participantes das atividades de projeto que sejam significativas e atribuíveis, de forma razoável, a essas atividades.

#### *2.2.7.5 Fuga*

A fuga corresponde ao aumento de emissões de gases de efeito estufa que ocorra fora do limite da atividade de projeto do MDL e que, ao mesmo tempo, seja mensurável e atribuível à atividade de projeto. A fuga é deduzida da quantidade total de RCEs obtidas pela

atividade de projeto do MDL. Dessa forma, são considerados todos os possíveis impactos negativos em termos de emissão de gases de efeito estufa.

#### *2.2.7.6 Definição do Período de Obtenção de Créditos*

O período de obtenção de créditos pode ter duração: (i) de 7 anos, com no máximo duas renovações, totalizando três períodos de 7 anos, desde que a linha de base seja ainda válida ou tenha sido revista e atualizada; (ii) de 10 anos, sem renovação.

#### *2.2.7.7 Plano de Monitoramento*

O plano de monitoramento inclui a forma de coleta e armazenamento de todos os dados necessários para calcular a redução das emissões de gases de efeito estufa, de acordo com a metodologia de linha de base estabelecida no DCP, que tenham ocorrido dentro dos limites do projeto ou fora desses limites, desde que sejam atribuíveis à atividade de projeto e dentro do período de obtenção de créditos.

#### *2.2.7.8 Justificativa para Adicionalidade da Atividade de Projeto*

A justificativa para adicionalidade do projeto é a demonstração de como as atividades de projeto reduzem emissões de gases do efeito estufa, além do que ocorreria na ausência da atividade de projeto do MDL registrada.

#### *2.2.7.9 Documento e Referências Sobre Impactos Ambientais*

Estes registros referem-se à documentação e às referências sobre os impactos causados pelas atividades de projetos considerados significativos pelos participantes da atividade de projeto, incluindo um relatório de impacto ambiental e o termo de referência da avaliação de impacto ambiental. Estas exigências resultam em uma grande oportunidade para ampliação do conhecimento dos ecossistemas onde tais atividades de projeto são desenvolvidas, incluindo informações sobre os impactos das atividades, aumentando a participação e negociação dos agentes sociais envolvidos. Para atender estas exigências, espera-se também um acréscimo de oportunidades de trabalho e maior valorização dos profissionais da área de meio ambiente.

#### *2.2.7.10 Resumo dos Comentários dos Atores*

O resumo dos comentários recebidos das partes interessadas e um relatório de como os comentários foram levados em consideração nas atividades do projeto do MDL devem ser registrados no Documento de Concepção do Projeto (DCP).

#### *2.2.7.11. Informações sobre Fontes Adicionais de Financiamento*

Este requisito aborda as informações sobre a origem das fontes de financiamento públicas destinadas às atividades do projeto. Deve-se evidenciar que o financiamento não resultou de desvio de Assistência Oficial ao Desenvolvimento (AOD) e que é distinto, não sendo contado como parte das obrigações financeiras das Partes Anexo I que participam da atividade de projeto.

### 2.2.7.12 Validação e Aprovação

Com base no Documento de Concepção do Projeto (DCP), a Entidade Operacional Designada (EOD) irá avaliar e validar a atividade de projeto do MDL proposta, checando se os seguintes pontos foram incluídos e considerados:

- a) se a atividade de projeto do MDL é voluntária e foi aprovada pelo país onde são implementadas as atividades de projeto;
- b) se a atividade de projeto do MDL atende aos critérios de elegibilidade;
- c) se há, de fato, uma redução adicional nas emissões de gases de efeito estufa;
- d) se os comentários dos atores envolvidos foram incluídos e de alguma forma considerados;
- e) se a análise de impacto ambiental foi realizada segundo a legislação ambiental nacional, se for o caso;
- f) se as emissões de gases de efeito estufa fora dos limites da atividade de projeto, porém atribuíveis a ela, ou seja, a fuga, foram consideradas;
- g) se o novo método para a linha de base proposta – se for esse o caso – está de acordo com as modalidades e procedimentos para a proposição de novos métodos;
- h) se o período de obtenção dos créditos foi definido.

A EOD, antes de submeter o DCP ao Conselho Executivo, deverá ter recebido de cada participante da atividade de projeto uma aprovação formal da respectiva Autoridade Nacional Designada (AND) quanto à participação voluntária. No caso do país onde são implementadas as atividades de projeto, deve ter recebido a confirmação de que a atividade de projeto contribui para o desenvolvimento sustentável do país. Essa confirmação deverá ser disponibilizada ao público e aberta para comentários.

#### *2.2.7.13 Registro*

O Conselho Executivo irá aceitar, formalmente, a atividade de projeto do MDL com base no relatório de validação da EOD. Esse processo é chamado de registro e deve ser concluído em até oito semanas após o referido relatório ter sido entregue ao Conselho Executivo.

O Conselho Executivo poderá solicitar uma revisão do relatório de validação caso requisitos estabelecidos não tenham sido atendidos e, nesse caso, deverá comunicar a decisão à EOD e aos participantes da atividade de projeto e torná-la pública. Uma atividade de projeto não aceita poderá ser reconsiderada após uma revisão de acordo com os itens necessários para a validação.

O registro é uma etapa necessária e anterior à verificação (certificação) e emissão das RCEs. As RCEs só devem ser emitidas para um período de obtenção de créditos com início após a data de registro de uma atividade de projeto do MDL.

#### *2.2.7.14 Monitoramento*

Um plano de monitoramento deverá integrar o Documento de Concepção do Projeto (DCP). O método de monitoramento deverá estar de acordo com método previamente aprovado ou, se utilizado novo método, deverá ser aprovado ou sua aplicação ter se mostrado bem sucedida em algum outro lugar.

A implementação do plano de monitoramento cabe aos participantes do projeto e quaisquer revisões no plano de monitoramento devem ser justificadas e submetidas novamente para validação. A implementação do plano de monitoramento registrado é uma condição para a verificação/certificação e emissão das RCEs e, portanto, deverá ser submetida previamente à EOD de forma a passar para a quinta etapa, verificação/certificação.

#### *2.2.7.15 Verificação / Certificação*

A Entidade Operacional Designada (EOD) verificará se as reduções de emissões de gases de efeito estufa monitoradas ocorreram como resultado da atividade de projeto do MDL. A EOD deverá relatar por escrito, ou seja, deverá certificar que a atividade de projeto atingiu de fato as reduções de emissões declaradas no período. A certificação formal será baseada no relatório de verificação e será considerada definitiva 15 (quinze) dias após ter sido recebida pelo Conselho Executivo. Esta certificação garante que as reduções de emissões de gases de efeito estufa foram de fato adicionais às que ocorreriam na ausência da atividade de projeto. A declaração da certificação é enviada aos participantes da atividade de projeto, às Partes envolvidas e ao Conselho Executivo e, posteriormente, tornada pública.

A EOD irá:

- a) verificar os métodos utilizados;
- b) assegurar que o método e documentação estão completos e, se necessário, recomendar correções;
- c) determinar as reduções de emissões de gases de efeito estufa;
- d) informar aos participantes das atividades de projeto quaisquer modificações necessárias;

- e) providenciar o relatório de verificação para os participantes da atividade de projeto.

A EOD deverá ainda:

- a) fazer inspeções de campo;
- b) entrevistar os participantes do projeto e os atores locais;
- c) coletar dados e medições;
- d) observar práticas estabelecidas;
- e) testar a acuracidade do(s) equipamento(s) de monitoramento.

#### *2.2.7.16 Emissão das Reduções Certificadas de Emissões*

O relatório de certificação incluirá solicitação para que o Conselho Executivo emita um montante de RCEs correspondente ao total de emissões reduzidas obtidas pela atividade de projeto do MDL.

A emissão ocorrerá 15 (quinze) dias após o recebimento da solicitação, a menos que uma das Partes envolvidas na atividade de projeto ou pelo menos três membros do Conselho Executivo requisitem a revisão da emissão das RCEs. Essa revisão deve limitar-se a questões de fraude, mau procedimento ou de incompetência da EOD. Nesse caso, o Conselho Executivo deverá finalizar, em 30 (trinta) dias, a revisão. O administrador do Registro do MDL, subordinado ao Conselho Executivo, deposita as RCEs certificadas nas contas abertas nesse mesmo Registro, de acordo com o solicitado no Documento de Concepção do Projeto, em nome das devidas Partes, bem como dos participantes das atividades de projeto do MDL,

já deduzida parcela equivalente a 2% do total das RCEs, que será integralizada em um fundo de adaptação, destinado a ajudar os países mais vulneráveis a se adaptarem aos efeitos adversos da mudança do clima. Outra parcela, determinada pela COP, por recomendação do Conselho Executivo, será utilizada para cobrir despesas administrativas do MDL.

Na Figura 7 é apresentado um fluxograma do processo que descreve os principais aspectos de um projeto de redução de emissões de gases do efeito estufa.

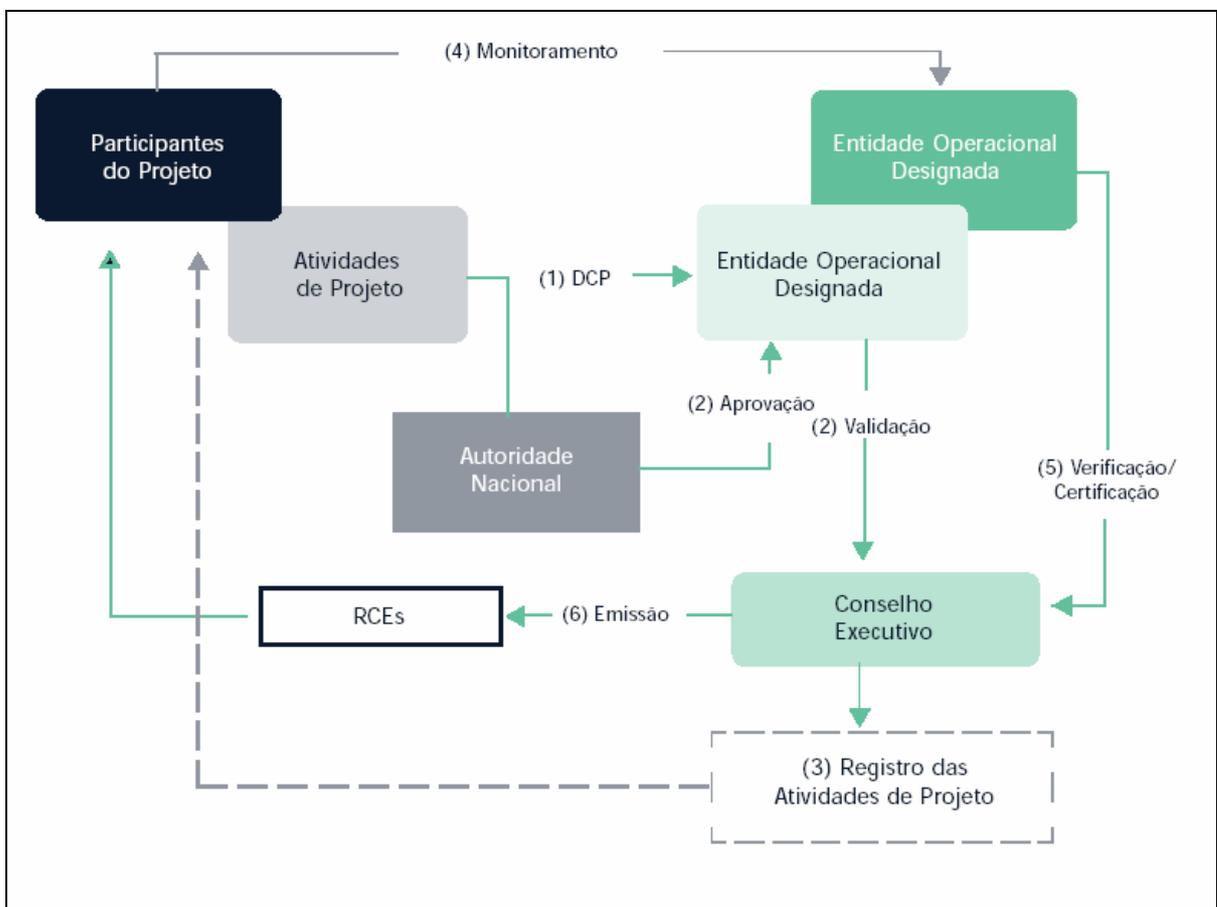


Figura 7 - Fluxograma geral de um projeto de redução de emissões de GEE  
Fonte: LOPES (2002)

### 2.3 A CONTRIBUIÇÃO DA ATIVIDADE DE TRANSPORTE NAS EMISSÕES DE GASES FORMADORES DO EFEITO ESTUFA

As fontes veiculares representam cerca de 26% das emissões globais de gases formadores do efeito estufa (IEA; The Energy Foundation, 2001). Projeções indicam que se não houver mudanças significativas e mantendo-se o cenário atual de taxas de crescimento da frota veicular mundial, o uso intensivo e crescente dos meios de transporte poderá elevar em duas vezes e meia a atual concentração de emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera até o ano 2030.

Nas cidades, entre os diversos segmentos consumidores de combustíveis fósseis, o setor de transporte rodoviário é um dos mais expressivos. Além de contribuir significativamente com a emissão de poluentes atmosféricos locais entre os quais monóxido de carbono, óxidos nitrosos, óxido de enxofre e aldeídos e materiais particulados, são responsáveis por grande emissão de CO<sub>2</sub>.

Estudos científicos indicam que os veículos automotores vêm contribuindo substancialmente para o aquecimento do planeta e o aumento da poluição do ar nas cidades. Nos Estados Unidos, os veículos automotores consomem 25% de todos os combustíveis fósseis gerados (MACKENZIE; WALSH, 1990). O crescimento da frota veicular americana foi de aproximadamente 40 milhões de veículos automotores entre 1980 e 1994, representando uma taxa de crescimento anual de 1,6%. Este aumento implicou em um acréscimo de consumo de combustíveis de 1,4% ao ano. “Apesar de todos os benefícios econômicos e sociais proporcionados pelo sistema, o transporte terrestre vem pondo em risco

o desenvolvimento sustentável, devido à demanda crescente por combustível e ao aumento dos congestionamentos, com tendências a piorar cada vez mais. Além da contribuição para o aquecimento global, a agência de proteção ambiental americana (U.S. Environmental Protection Agency - EPA) estima que os veículos motorizados respondem por 78% das emissões de monóxido de carbono, 45% das emissões de óxido de nitrogênio e 37% das emissões de componentes orgânicos” (MACKENZIE, 1997). A experiência americana é contrária à tendência mundial no que tange ao declínio na economia de combustíveis. A principal razão desta situação encontra-se no acréscimo de vendas dos veículos da categoria *sport utility vehicle* – SUV e *minivans*, que ultrapassaram a marca de 50% das vendas de veículos novos e possuem padrões de desempenho menos eficientes que veículos de passageiros leves, resultando em maior consumo de combustíveis e, conseqüentemente, emissões de GEE. Porém, recentemente, tal distorção já começou a ser corrigida em estados como a Califórnia, onde os fabricantes estão sendo obrigados a vender veículos SUV e minivans dentro dos mesmos padrões de desempenho dos motores exigidos para veículos leves.

Muitas novas tecnologias têm sido desenvolvidas na última década as quais já poderiam ter sido empregadas no sentido de melhorar a economia de combustíveis ou desempenho dos veículos, resultando em menor nível de emissões de GEE. Em vários casos, essas técnicas vêm sendo utilizadas apenas para melhorar desempenho (potência) como, por exemplo, no caso da frota de veículos de passageiros americana. Entre os anos de 1988 e 2001, a média de potência dos veículos de passageiros aumentou 53% e o peso 19%, por unidade, enquanto que a economia de combustível declinou 8%. Conforme dados da EPA, as melhorias tecnológicas desenvolvidas no período poderiam propiciar uma economia de combustível da ordem de 20% (IEA; The Energy Foundation, 2001).

Em junho de 2001, um grupo de 18 especialistas reuniu-se em Bellagio, Itália, para desenvolver uma relação de princípios para a próxima geração de ações governamentais que darão forma às futuras tecnologias de motores veiculares (IEA; The Energy Foundation, 2001). O grupo incluía entre seus participantes renomados especialistas da China, União Européia, França, Alemanha, Japão e EUA. O encontro tratou das emissões geradas pelas atividades de transporte rodoviário, incluindo poluentes tóxicos e gases formadores do efeito estufa. É importante ressaltar que o escopo do encontro era limitado aos princípios dirigidos à tecnologia veicular e formulação de combustíveis. Os participantes do encontro concordaram que outros métodos para redução de emissões de poluentes atmosféricos e gases do efeito estufa, tais como o incremento do uso de transportes alternativos (por exemplo, sistemas interligados de ônibus ou bicicletas em vez de carros) e a redução de trajetos para melhor uso do solo, embora não contemplados nestes princípios, são elementos cruciais também para um plano efetivo de redução dos impactos ambientais no transporte rodoviário.

Ao final do encontro, foram elaborados diversos princípios em um documento denominado Memorando de Bellagio, expressando as opiniões de consenso entre os participantes, não representando, necessariamente, as posições dos governos ou entidades ali representadas. No que tange aos gases formadores do efeito estufa, foram feitas as seguintes recomendações e observações:

- a) os governantes e legisladores devem apoiar programas e políticas que reduzam as formas de poluição convencionais e outras formas como emissões sonoras e de GEE, assegurando que novas tecnologias ofereçam incrementos nestas áreas;
- b) as regulamentações devem ser baseadas em todo o ciclo de vida das emissões, incluindo a produção do veículo e do combustível, distribuição e disposição final.

- c) um efetivo e eficaz programa requer participação ativa do governo em seus diversos âmbitos: nacional, regional e municipal;
- d) motores de veículos se constituem em uma das maiores fontes antrópicas emissoras de CO<sub>2</sub> sendo razoável esperar que nenhum esforço sério para estabilizar a concentração de GEE deixe de considerar uma significativa redução de emissões de motores veiculares;
- e) como a frota global de veículos permanece crescendo e a concentração de CO<sub>2</sub> continua aumentando na atmosfera, é necessário obter enormes reduções de emissões de CO<sub>2</sub> por unidade veicular em breve. Medidas de redução devem ser planejadas no sentido de evitar a promoção de aumentos no tamanho, peso e potência de novos veículos que utilizem a atual tecnologia.;
- f) embora existam algumas justificativas técnicas para a produção de veículos maiores, pesados e mais potentes sendo menos eficientes em termos de consumo de combustível, os legisladores devem estar atentos para evitar as conseqüências não intencionais de suas ações. Economia de combustível e padrões de emissões de GEE que variam por motor ou tamanho do veículo podem criar incentivos perversos permitindo o crescimento dos motores menos eficientes, mesmo que seja controlada a economia de combustível por veículo;
- g) o transporte de cargas rodoviárias é outro segmento que vem crescendo rapidamente e deve receber maior atenção na implantação de programas de redução de GEE;
- h) outros GEE devem ser controlados para obter-se uma redução de CO<sub>2</sub>: motores veiculares contribuem significativamente para o aumento da concentração de N<sub>2</sub>O, cloro flúor carbonos e ozônio troposférico. As emissões de N<sub>2</sub>O são substancialmente altas em carros equipados com catalisadores quando comparadas

às emissões de carros não providos deste equipamento. Felizmente, os níveis de  $N_2O$  obtidos em catalisadores de carros mais avançados tem apresentado menores níveis de emissão, quando comparados à primeira geração. No futuro, poderá ser necessário revisar os limites de emissão para o  $N_2O$ ;

- i) evidências recentes indicam que a fuligem (black carbon - soot), é um constituinte primário da exaustão de partículas de óleo Diesel, absorvendo calor e contribuindo para o aquecimento global. A fuligem causa uma redução indireta da cobertura de nuvens diminuindo o albedo. A redução do albedo significa maior retenção de energia solar na atmosfera terrestre, contribuindo para o aquecimento global;
- j) o custo-benefício deve ser considerado um objetivo permanente na implementação de novas tecnologias de produção limpa de veículos e combustíveis;
- k) estratégias de transporte limpo devem promover inerentemente veículos limpos;
- l) a produção de veículos novos em países em desenvolvimento deve ser baseada em tecnologia nova e não se constituir em mera transferência de tecnologia obsoleta;
- m) padrões de emissões ao redor do mundo devem ser baseados na melhor tecnologia disponível;
- n) programas de manutenção e inspeção veicular devem controlar vida útil dos veículos da frota, separando as atividades de inspeção daquelas relativas aos reparos;

Além das ações e sugestões citadas, cabe destacar a recomendação de adotar medidas quantitativas para reduzir emissões de GEE de todos os veículos, incluindo uma média de 25% de redução de emissões sobre a última década, no mínimo, para veículos novos de passageiros. Diversos mecanismos de apoio poderiam ser adotados incluindo-se a

formalização de acordos voluntários com fabricantes de veículos, ajuste de novos padrões de eficiência de combustíveis e emissões de GEE, além de incentivos financeiros.

A Associação Européia de Fabricantes de Carros propôs e a União Européia aceitou realizar um acordo voluntário para redução de 25% das emissões de GEE até o ano de 2008, por veículo, considerando-se como referência (linha de base) o ano de 1995. Isto implicará em um aumento na economia de combustíveis da ordem de 33% sobre toda frota de veículos novos. Para os participantes do encontro, esta medida demonstrou uma clara liderança da União Européia neste tema. Espera-se que os fabricantes de veículos leves localizados em outros países possam alcançar o mesmo percentual de redução até o ano de 2010, considerando-se aqui também, como linha de base, o ano de 1995. É importante ressaltar que carros europeus novos, fabricados em 1995, já eram veículos mais eficientes que veículos novos vendidos em muitos países. Portanto, para muitos países fabricantes de veículos, uma meta de redução de 25% poderá ser considerado um objetivo modesto.

No Japão, o governo estabeleceu uma série de medidas de economia de combustível, por classe e peso de veículo, que pretendem reduzir em 23% o consumo de combustível em veículos leves até 2010.

No Brasil, o setor de transportes é fortemente ligado aos combustíveis derivados do petróleo que, em termos de energia final, supriam 79% da demanda do setor em 1985 e atingiram 85% em 1999. Devido a essa ligação, o setor foi palco da mais profunda mudança no perfil de combustíveis ocasionada pela crise de preço do petróleo, desde a quase total transferência do transporte de cargas e do coletivo de passageiros da frota Otto (ignição por centelha) para a frota Diesel (ignição por compressão), até a entrada do álcool combustível no

transporte individual, que dá ao país a condição, singular no mundo, de ter um combustível oriundo de biomassa na sua matriz energética automotiva.

Do ponto de vista físico, a mudança na matriz de combustíveis automotivos, promovidos através de ações governamentais calcadas em incentivos creditícios, fiscais e de preços dos combustíveis, forçou a queda da intensidade energética no setor, graças à maior eficiência termodinâmica dos motores de maior razão de compressão. Do ponto de vista ambiental, esta mudança foi benéfica pois levou à queda da emissão específica de poluentes atmosféricos e de gases de efeito estufa, antecipando, ainda que inadvertidamente, a atenuação do problema das mudanças do clima.

No caso brasileiro,

é interessante marcar a participação importante do transporte no uso da energia (cerca de um terço da energia equivalente). Por outro lado, cabe realçar a grande participação do transporte individual – que atende cerca de 20% da população – sendo responsável por dois terços do combustível consumido no transporte de cargas e passageiros em todas as outras modalidades de transporte - aéreo, ferroviário, hidroviário e rodoviário” (Economia & Energia – ONG, 2000).

Na Figura 8 é apresentado o crescimento estimado da frota nacional de veículos leves (ciclo Otto) bem como o consumo por veículo e preço do combustível no período compreendido entre os anos de 1970 e 2020.

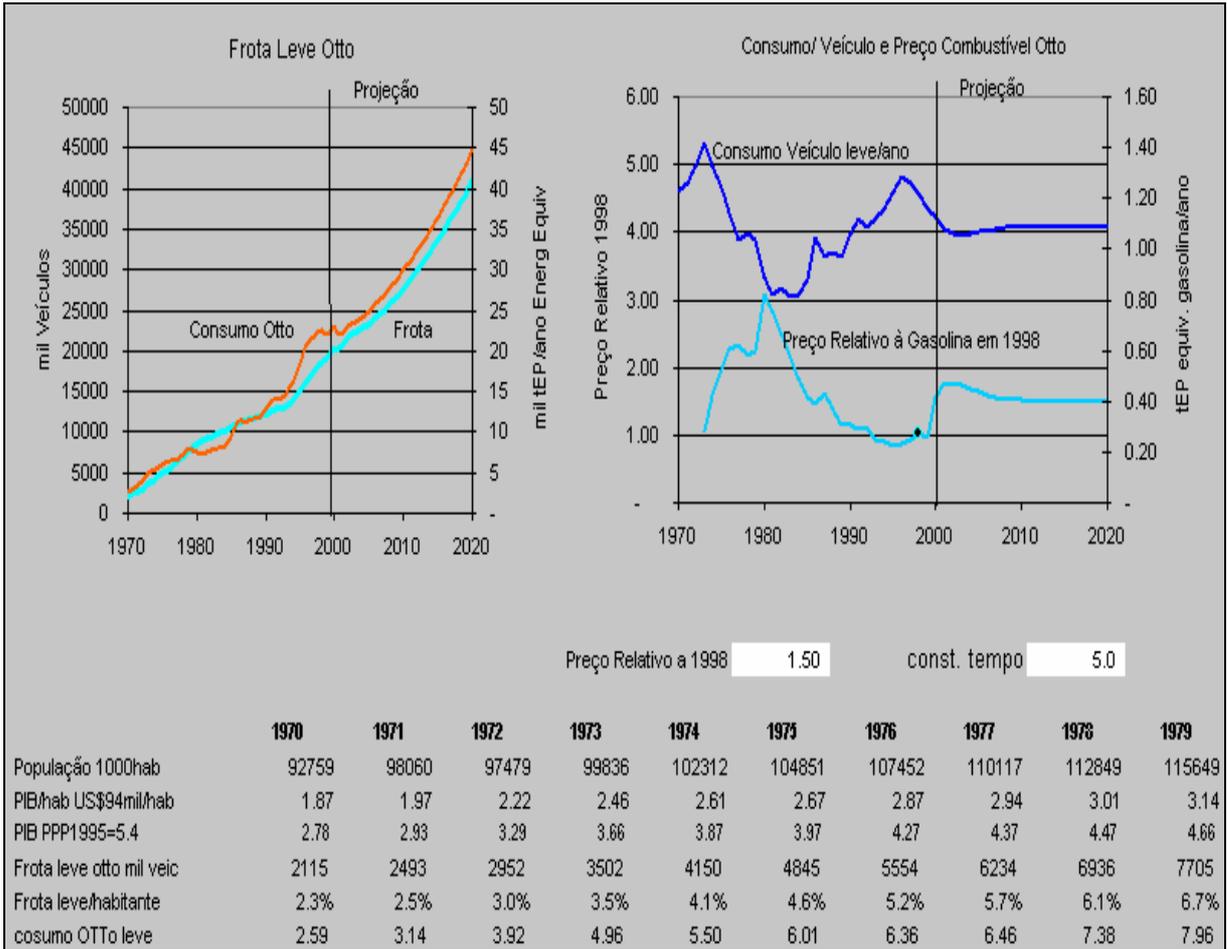


Figura 8. - Levantamento da frota nacional de transporte individual e do correspondente consumo de combustíveis

Fonte: Boletim N. 29 – Organização Não Governamental (ONG) Economia & Energia, 2001.

Observa-se um crescimento linear na quantidade de veículos produzidos entre 1970 e 2000, sendo esta curva mais acentuada no período projetado até o ano 2020, quando o país deverá possuir uma frota de 40 milhões de veículos. Por sua vez, o consumo anual de combustível por unidade veicular leve tende a estabilizar em torno de 1,1 tEP equivalente gasolina por ano, depois de experimentar um crescimento aproximado de 20% nos últimos 20 anos.

Embora seja razoável esperar o predomínio de uso da gasolina e do óleo Diesel como combustíveis de veículos por muitos anos ainda, observa-se que os fabricantes de carro e muitas companhias de petróleo estão investindo centenas de milhões de dólares em pesquisas

para desenvolvimento de novas tecnologias a base de combustível sintético (“gás para líquido” - GTL) e células de combustíveis, entre outros, buscando explorar combustíveis fósseis de menor impacto e não fósseis, como o hidrogênio, em médio prazo.

Cabe registro também para algumas iniciativas dos próprios fabricantes de veículos voltados ao abatimento de emissões de GEE na cadeia automobilística. A General Motors (GM), maior companhia automobilística do mundo, assumiu um compromisso público para reduzir em 10% as emissões totais (inclusive GEE) em suas plantas industriais situadas nos EUA, no período 2000 – 2005, através do programa EPA’s Climate Leaders. Outro exemplo é o testemunho de Bernd Pischetsrieder, presidente mundial da Volkswagen:

a mudança do petróleo para outras energias é um desafio que se estenderá pelos próximos 30 anos. Esse caminho nos levará do óleo cru e seus derivados para o gás natural, via biomassa, para a produção de hidrogênio a partir de recursos renováveis. Acreditamos que os combustíveis sintéticos, líquidos, constituem a transição ideal do hidrocarboneto para o hidrogênio (JORNAL ZERO HORA, Jan. 2004).

Em resumo, a adoção de sistemas de transporte mais eficientes, em associação com o emprego de novas tecnologias de motores veiculares já é uma premissa aceita pelos integrantes da cadeia automotiva mundial. Este fato é de grande relevância, permitindo supor que as conseqüências destas iniciativas devem contribuir de forma significativa para a redução dos atuais níveis de emissão de gases do efeito estufa ao longo das próximas décadas.

### 2.3.1 Análise das Emissões de Gases do Efeito Estufa Associados ao Uso de Veículos

Ao considerar o impacto das emissões de gases formadores do efeito estufa geradas no escapamento de veículos, é importante ressaltar que esses poluentes são gerados em uma pequena parte da cadeia de produção dos automóveis. Dentro de uma perspectiva mais ampla, os gases citados contribuem com apenas uma parcela sobre o total de emissões geradas em todas as fases do ciclo de vida do veículo, as quais, abrangem a fabricação do próprio veículo, a fabricação e transporte do seu combustível e lubrificantes, o uso do veículo propriamente dito, o destino final dos seus componentes, entre outros fatores. De forma resumida, o ciclo de vida de um produto pode ser dividido em cinco estágios:

- a) o primeiro estágio consiste na extração dos recursos naturais, basicamente, matérias-primas e/ou componentes;
- b) o segundo estágio é a transformação destas matérias-primas em produtos, implicando em tarefas de beneficiamento ou transformação industrial;
- c) o terceiro estágio inclui a forma de acondicionamento, embalagem e expedição do produto;
- d) o quarto estágio inicia-se após a utilização do produto pelo consumidor;
- e) e o quinto estágio refere-se a fase pós-consumo, os seja quando o produto torna-se obsoleto ou defeituoso, sendo descartado ou reciclado.

A análise do ciclo de vida (ACV) é um conceito organizacional e metodológico complexo e foi desenvolvida para a avaliação dos impactos ambientais de sistemas de bens e serviços. Ela pode ser desenvolvida sobre um produto, processo ou atividade resultando em uma avaliação sistemática que objetiva quantificar os principais fluxos de energia e materiais envolvidos na formação de determinado produto, desde a criação (berço) até o impacto gerado

pela disposição final dos resíduos (túmulo). A ACV envolve muitas variáveis, sendo constituída por quatro etapas básicas:

- a) definição do escopo e objetivos da avaliação e limites do estudo;
- b) elaboração do inventário de impactos ambientais, envolvendo a quantificação dos reflexos sobre o meio-ambiente, dos materiais empregados e fluxos de energia do sistema. O resultado é uma espécie de balanço de massa e energia onde são considerados todos os fluxos de entrada e os correspondentes fluxos de saída, quantificados na forma de produto, resíduo ou emissão;
- c) avaliação dos impactos ambientais considerando-se o consumo dos recursos naturais e os resultados quanto aos respectivos impactos com a finalidade de implantar melhorias no produto e/ou processos. Nesta etapa, são avaliados e comparados as eventuais perdas de materiais e os fluxos de energia consumidos nos processos, determinados na fase anterior;
- d) análise de oportunidades melhoria resultando na revisão ou implementação de procedimentos de controle operacional e/ou planos de ação corretiva.

A ACV pode auxiliar na identificação de oportunidades para melhorar aspectos ambientais dos produtos em vários pontos do seu ciclo de vida, sendo empregada como ferramenta de apoio na tomada de decisões em atividades industriais, governamentais e não-governamentais. Ela também oportuniza a criação de indicadores de desempenho ambiental, incluindo técnicas de avaliação. Visando uniformizar procedimentos de avaliação, a International Organization for Standardization (ISO) publicou a norma ISO 14.040 – Life Cycle Assessment, em consonância com a estrutura geral de gestão ambiental estabelecida pela série ISO 14.000.

No presente estudo, são abordados apenas certos aspectos das emissões de gases geradas em algumas das fases da vida de um automóvel. Essas informações poderão ser úteis para um trabalho mais profundo que venha contemplar, efetivamente, a análise do ciclo de vida automotivo. Apenas para ilustrar, as emissões de GEE provenientes de um veículo podem ser divididas em três grandes estágios:

- a) produção do veículo;
- b) produção do combustível utilizado no veículo;
- c) e o uso do veículo nas vias de trânsito.

Portanto, os gases emitidos na etapa final de consumo de um combustível se constituem apenas de uma parte do ciclo de vida de emissões associadas com a produção e o uso dos veículos e seus respectivos motores. Particularmente, as emissões geradas na produção dos combustíveis e no uso final dos veículos têm recebido atenção considerável nos últimos anos com o surgimento de novos combustíveis alternativos para os quais o nível de emissões é consideravelmente menor ou, próximo de zero, como no caso de veículos elétricos. Para esses casos de carros movidos a energia elétrica ou hidrogênio, as emissões são diretamente dependentes das respectivas fontes de eletricidade.

De uma forma geral, as emissões decorrentes da produção e distribuição dos derivados de petróleo alternativos, como o gás natural (GN) e o gás liquefeito de petróleo (GLP) são similares às emitidas para a gasolina, embora existam diferenças significativas com respeito a alguns poluentes, como é o caso das emissões de  $\text{SO}_2$  que são menores, enquanto as emissões de  $\text{CH}_4$  são maiores na produção de gás natural. (LEWIS; GOVER, 1996; OECD, 1993; OECD, 1995). No caso brasileiro, o gás natural leva uma vantagem adicional, pois a

energia consumida no transporte para pressurizar os gasodutos é, predominantemente, de fonte hidroelétrica.

As emissões geradas por um veículo em uso compreendem uma parcela significativa do ciclo de vida das emissões do combustível empregado, considerando-se as etapas de produção do combustível, produção e uso do veículo. A qualidade e a quantidade de emissões dependem de muitos fatores incluindo-se o tipo de motor, tecnologia empregada, sistema de controle de emissões, o perfil de tráfego enfrentado regularmente pelo veículo (trânsito urbano ou rodoviário), o estilo empregado pelo condutor do veículo (agressivo ou moderado) no seu deslocamento, assim como o nível e a qualidade de manutenção adotada.

A Tabela 5 apresenta uma estimativa da distribuição das emissões geradas por um veículo leve, movido à gasolina, ao longo do ciclo de vida do combustível e do veículo.

Tabela 5 - Emissões do ciclo de vida total para automóveis à gasolina com a respectiva produção de combustível, produção de veículos e utilização em serviço.

<b>Atividade</b>	<b>CO<sub>2</sub></b> <b>(g/km)</b>	<b>CO</b> <b>(g/km)</b>	<b>NO<sub>x</sub></b> <b>(g/km)</b>	<b>HC*</b> <b>(g/km)</b>	<b>SO<sub>2</sub></b> <b>(g/km)</b>	<b>MP**</b> <b>(g/km)</b>	<b>N<sub>2</sub>O</b> <b>(g/km)</b>
<b>Produção de combustível</b>	47,0	0,061	0,174	0,388	0,185	0,011	0,007
<b>Produção de Veículos</b>	54,5	0,021	0,160	0,105	0,493	0,016	0,001
<b>Utilização de Veículos</b>	186,3	3,371	0,221	0,299	0,020	0,005	0,054
<b>Total</b>	287,8	3,453	0,558	0,792	0,699	0,032	0,061
	<b>Percentual de Emissões</b>						
<b>Produção de Combustíveis</b>	16,3	1,8	31,1	49,1	26,5	35,7	10,9
<b>Produção de Veículos</b>	18,9	0,6	28,7	13,2	70,6	48,8	1,2
<b>Utilização de Veículos</b>	64,7	97,6	40,2	37,7	2,9	15,5	88,0
*Ligantes de hidrocarbonetos inclui emissões de VOC para operações de pintura e adesivos.							
** MP - Material Particulado.							
Nota: uso do veículo baseado na estimativa de vida útil do veículo de 12 anos, rodando 9.500 milhas por ano.							

Fonte: adaptado de IPCC – Green House Inventory Reporting Instructions, 1996.

No caso de veículos movidos a gasolina, a contribuição das emissões de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O geradas na fase final de uso do veículo alcançam, respectivamente, 64,7% e 88% do total de emissões, onde se incluem as emissões geradas nas demais fases (produção do combustível e produção do veículo). Desta forma, percebe-se que as iniciativas adotadas para redução das emissões de GEE nesta última fase resultam em maior impacto quando comparadas às demais fases relacionadas. Nota-se ainda que as emissões veiculares contribuem expressivamente para o aumento das concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub>, CO e NO<sub>x</sub>. Já, na produção de gasolina há grande emissão de hidrocarbonetos (HC's), enquanto na produção de veículos predominam emissões de SO<sub>2</sub> e material particulado (MP).

A distribuição relativa das parcelas de emissões atribuídas a cada uma das etapas da cadeia (produção dos veículos, produção do combustível utilizado nos veículos e no uso do veículo nas vias de trânsito) é afetada significativamente pela distância percorrida pelo veículo ao longo de sua vida útil. Quanto maior a distância, maior será o consumo de combustível e, conseqüentemente, a geração de emissões pelo escapamento. A Tabela 6 apresenta uma estimativa do ciclo de vida das emissões geradas por veículos que empregam diferentes combustíveis.

Tabela 6 - Emissões totais do ciclo de vida para carros à gasolina e combustíveis alternativos

Atividade	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	HC	SO <sub>2</sub>	MP	N <sub>2</sub> O
	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)
<b>Gasolina</b>	287,8	3,453	0,558	0,792	0,699	0,032	0,0611
<b>Diesel</b>	227,1	0,489	0,981	0,384	0,702	0,131	0,005
<b>GLP*</b>	239,0	3,889	0,482	0,443	0,649	0,027	0,505
<b>GNV</b>	242,0	0,863	0,457	1,137	0,575	0,022	0,815
<b>Metanol</b>	233,7	3,292	0,729	0,914	0,549	0,023	0,038
<b>Biometanol</b>	292,0	3,419	0,781	0,597	0,646	0,039	0,046
<b>Eletricidade</b>	228,1	0,068	0,520	0,451	1,005	0,040	0,008

Nota: uso do veículo baseado na estimativa de vida útil do veículo de 12 anos, rodando 9.500 milhas por ano.

\* GLP - gás liquefeito de petróleo

Fonte: LEWIS; GOWER (1996), transcrito de FAIZ et Al, 1996.

É importante ressaltar que os dados indicados na Tabela acima referem-se à realidade da matriz energética americana e podem diferir bastante da realidade de outros países como, por exemplo, o Brasil. Para o caso americano, enquanto existe uma grande variação entre os tipos de combustíveis com respeito ao estágio (produção do veículo, produção e distribuição do combustível, uso do veículo) em que as emissões ocorrem, esta variação é muito pequena quando comparados veículos similares utilizando combustíveis diferentes. Observa-se que ao trocar de combustível, é possível transferir parte da fonte de emissões do veículo em uso para

o estágio de emissões produzidas na fase anterior, de produção e distribuição do combustível. Porém, esta alternativa é mais difícil para reduzir a magnitude geral das emissões. Isto é particularmente relevante para a emissão de GEE. Ao transferir as fontes de emissão do segmento veículos em uso para a produção de combustível, alguns poluentes serão reduzidos e outros poderão ser aumentados. No entanto em relação aos GEE, no caso da substituição de gasool por álcool hidratado ou GNV, espera-se uma redução significativa destes agentes porque as emissões geradas nas fases de produção e distribuição são reduzidas em relação ao combustível original.

No caso do álcool hidratado, a introdução deste combustível causa diminuição nas emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, partículas e óxidos de enxofre. Por outro lado, aumenta as emissões de aldeídos e modifica a composição dos combustíveis não queimados emitidos. É importante ressaltar, que o resultado dessas alterações das emissões na qualidade do ar depende das suas contribuições relativas. No caso dos poluentes secundários (ozônio, aldeídos, etc), depende também das alterações qualitativas ocorridas na mistura dos precursores, sendo por isso mesmo, difícil de prever o resultado final na qualidade do ar decorrente das alterações nas emissões.

Estudos realizados nos anos de 1981 e 1985 envolveram a realização de medições de aldeídos totais porém não foi possível observar nenhuma alteração importante nos níveis medidos, muito embora a relação aldeídos/CO tenha aumentado. Posteriormente, em 1993, foram calculadas as relações entre acetaldeído e formaldeído para cada amostragem individual, resultando numa média de 1,8 e 1,7, respectivamente. Em 1996/1997, os valores desta relação atingiram em dois pontos da cidade de São Paulo, respectivamente, 2,1 na Cidade Universitária – USP e 1,6 em Cerqueira César. Comparando-se estes valores com os

obtidos em cidades americanas, como Los Angeles, Atlanta e Chicago, que apresentam relações entre 0,18 a 0,96, verifica-se que os obtidos na cidade de São Paulo são muito maiores, indicando excesso de acetaldeído em relação ao formaldeído, devido ao uso intensivo do etanol como combustível, o que não ocorre nestes outros locais citados (Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso - PCPV para o Estado de São Paulo, 2000).

A introdução do álcool como combustível automotivo causa algumas alterações importantes nas emissões dos veículos, sobre as quais, se faz a seguir algumas considerações. A Tabela 7 resume as principais alterações que ocorrem nas emissões em função de mudanças na composição de álcool anidro na mistura combustível, para os veículos em uso. O valor 100 nessa Tabela serve somente como base de referência.

Em termos absolutos os níveis de emissão dos veículos a álcool e gasolina diferem entre si, sendo que a magnitude da diferença é função do modelo e do ano de fabricação. É importante salientar que o parâmetro “hidrocarbonetos” deve ser entendido como indicador do combustível não queimado, tendo, portanto, significado diferente em termos de química atmosférica, conforme a mistura envolvida.

Tabela 7 - Variação relativa na emissão de poluentes pelo escapamento em função do teor de álcool anidro na gasolina (%v/v)

POLUENTE	PORCENTAGEM DE ETANOL			
	22	18	12	0
CO	100	120	150	200 - 450
HC	100	105	110	140
NOx	100	95	80	60

Fonte: Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso - PCPV para o Estado de São Paulo (RESOLUÇÃO SMA N° 31/2000)

### *2.3.1.1 Considerações Sobre a Emissão de Gases Poluentes na Produção de Combustíveis - Derivados de Petróleo (Gasolina) e Gás Natural.*

O petróleo é extraído dos campos de produção e normalmente transportado por oleodutos até as refinarias, onde é processado. Posteriormente, os derivados do petróleo são armazenados em reservatórios ou transportados para outras unidades de processamento ou consumo.

A gasolina é uma mistura bastante complexa, com mais de uma centena de diferentes hidrocarbonetos líquidos inflamáveis e voláteis, derivados do petróleo. A maioria é saturado (somente com ligações simples) e contém de 4 a 12 átomos de carbono por molécula. Entre os métodos de extração destaca-se o craqueamento, que consiste numa quebra de moléculas maiores, também presentes no petróleo, em outras menores, que pertencem à fração da gasolina. Outros métodos incluem a polimerização (conversão de olefinas gasosas, tal como propileno e butileno, em moléculas maiores, dentro da faixa da gasolina), a alquilação (processo que combina uma olefina e uma molécula como isobutano) e a isomerização (conversão de hidrocarbonetos de cadeia normal para hidrocarbonetos de cadeia ramificada).

Além de ser utilizada como combustível em motores de combustão interna, é também usada como solvente, na indústria, para óleos e gorduras. Por ser volátil, a gasolina mistura-se facilmente com o ar na câmara de combustão dos veículos, gerando um gás muito inflamável.

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves, que, em condições normais de temperatura pressão e temperatura, permanece no estado gasoso. Na natureza, ele é encontrado em acumulações de rochas porosas no subsolo (terrestre ou marinho), em geral acompanhado de petróleo (SANTOS, 2002). O processo de formação do gás natural passa

pela ação de bactérias anaeróbias que degradam a matéria orgânica. Também pode ser obtido a partir da degradação do carvão submetido a temperatura e pressão elevadas ou, ainda, pela alteração térmica de hidrocarbonetos líquidos (LEGERINI, 2003).

A composição do gás natural pode variar de campo para campo, devido ao tipo de matéria orgânica que lhe deu origem, aos processos naturais a que foi submetido, pelo fato de estar ou não associado ao óleo e também em função de ter sido ou não processado em unidades industriais. Em geral, ele é formado por uma mistura de metano (principal componente), etano, propano e, em menores proporções, de outros hidrocarbonetos de maior peso molecular.

O gás natural pode ser classificado em duas categorias:

- a) associado: é aquele que, no reservatório, encontra-se em companhia do petróleo, estando dissolvido no óleo ou sob a forma de uma capa de gás (isto é, uma parte superior da acumulação rochosa, onde a concentração de gás é superior à concentração de outros fluidos como água e óleo). Nesse caso, normalmente, privilegia-se a produção inicial do óleo, utilizando-se o gás para manter a pressão do reservatório;
- b) não associado: é aquele que, no reservatório, está livre do óleo e água (ou estes encontram-se em concentrações muito baixas). Na acumulação rochosa porosa, a concentração de gás é predominante, permitindo a produção basicamente de gás. Neste caso, sua recuperação inclui apenas uso de energia para filtrar e pressurizar a linha de transporte do campo até o ponto de consumo.

Comparativamente aos demais combustíveis fósseis, o gás natural é aquele que produz a combustão mais limpa, pois contém menos carbono por unidade de energia do que os seus concorrentes diretos. Normalmente, apresenta baixos teores de impurezas como nitrogênio, CO<sub>2</sub>, água e compostos de enxofre. Conseqüentemente, para um mesmo trabalho veicular (distância percorrida) produz menos CO<sub>2</sub>. De uma forma geral, considerando-se o uso de tecnologia avançada (vide item 2.5.2. na seqüência) e elementos necessários para uma boa conversão, as emissões de escape dos veículos movidos a gás natural são muito inferiores às aquelas geradas por veículos movidos a gasolina, em condições semelhantes.

É importante salientar que os dados relacionados às emissões de GNV pressupõem o uso de tecnologia avançada e bem aplicada. Dados obtidos em ensaios do laboratório de motores da Petrobrás – REFAP (Refinaria Alberto Pasqualini) indicam que a concentração máxima emitida por um motor veicular consumindo GNV é de 9,79% de CO<sub>2</sub>, contra 13,34% da gasolina e 12,24% do etanol, calculadas pela reação de combustão estequiométrica (balanço de massa). O menor CO<sub>2</sub> teórico significa também o menor CO na região rica o que torna o combustível GNV o menos poluente entre os disponíveis. Por análise química, verifica-se que o GNV produz menor quantidade de CO<sub>2</sub> em comparação ao álcool hidratado (-20,0%) e a gasolina (-26,6%), sendo estes dados confirmados na prática por analisadores de gases infra-vermelhos, os quais fornecem um valor levemente superior devido a coleta de dados ocorrer no regime de marcha lenta (DALÁVIA; DE MELLO, 2003). Os resultados são explicados pelo fato de como o valor é reportado em percentual de volume e condensa boa quantidade de água na descarga quando o motor opera em marcha lenta, resultando em percentual relativo maior (ao condensar, a água deixa de fazer parte dos gases da descarga).

Porém no Brasil, em muitos casos, as conversões estão sendo feitas sem o devido cuidado, embora quase todos os fabricantes de kits para conversão GNV possuam versões mais avançadas que permitem o controle adequado das emissões. O GNV não necessita de enriquecimento para aceleração e não necessita de enriquecimento para atingir máxima potência, resultando em reduções de emissões de CO de até 70% quando a conversão é bem feita. No caso de aceleração súbita, o GNV não condensa nas paredes do coletor de admissão, fato que ocorre com os combustíveis líquidos (quando o acelerador é acionado gera aumento na pressão absoluta do coletor fazendo com que o combustível que estava vaporizado condense na parede do coletor). Na prática, ao permanecer acelerando, o motorista do carro movido a gasolina percebe uma quase imediata recuperação do motor devido a atuação de sistemas de enriquecimento da mistura nos transientes. No caso de motores GNV, a sensação é de perda de potência e uma retomada mais lenta da aceleração. Em algumas oficinas mecânicas especializadas em “kits” de conversão, provavelmente por desconhecimento destas características do GNV, os motores são modificados para atuarem com mistura ar-combustível muito rica, durante todo o tempo de funcionamento do motor, baseando-se na crença equivocada de que tal condição resulta em aumento de potência uma vez que o fator lambda (combustão estequiométrica) é da ordem de 0,89 para a gasolina e 0,85 para o etanol, compensando a menor quantidade de energia do GNV em relação a gasool por unidade de massa. Porém este valor é uma característica particular de cada combustível. Para o caso do GNV, o fator lambda de máxima potência é próximo ao estequiométrico onde, geralmente, têm-se CO bastante reduzido, na faixa de 0,5% a 1% dependendo do combustível. A Figura 9 ilustra as curvas de potência, descarga e emissões dos principais gases do escapamento.

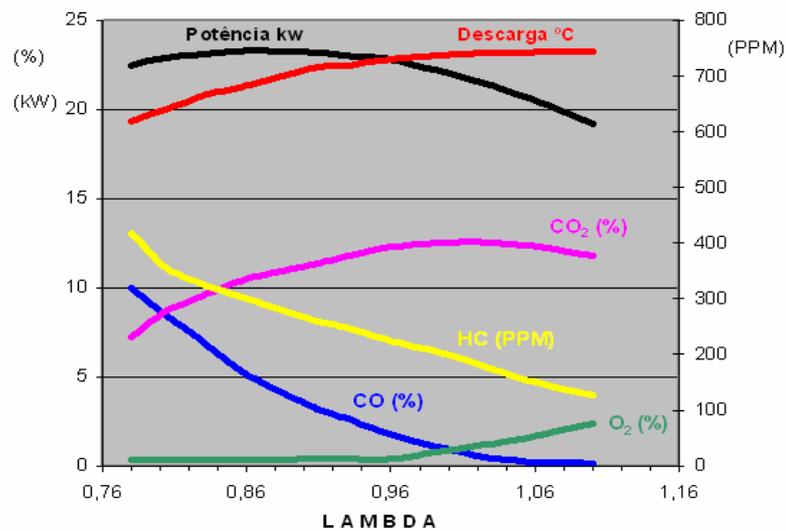


Figura 9 – Dados experimentais de potência, descarga e emissões de gases do escapamento de um motor veicular marca Fiat, 1.0 – 3.800 rpm, carga total.

Fonte: DALÁVIA; DE MELLO (2003)

É comum transformar-se um veículo movido a gasool com injeção multiponto e demais componentes característicos (sonda de oxigênio, sensor de pressão barométrica, etc) em um carro movido a GNV carburado. Basicamente, são instalados um emulador de sonda de oxigênio e um emulador de injetores para que não apareça o código de erro no painel do veículo, fazendo-se uma espécie de laço *by-pass* sobre a central eletrônica original do veículo, passando o mesmo a funcionar de forma carburada, sem retroalimentação *feed-back*.

A consequência desta ação é a ausência de controle estequiométrico tornando o catalisador ineficiente e, portanto, aumentando significativamente as emissões de poluentes. Tal situação é agravada pela ausência de legislação adequada, capaz de estabelecer os parâmetros adequados de emissões para veículos convertidos para GNV. Por estas razões, parece ser fundamental sensibilizar governantes e demais autoridades para que seja elaborada legislação complementar sobre o tema observando as formas de prevenção e controle necessário para obtenção de efetiva redução de emissões de gases do efeito estufa e outros poluentes nos processos de conversão de motores.

Com relação às emissões fugitivas de GEE resultantes das atividades de processamento, transporte e uso de petróleo (derivados, entre os quais, a gasolina) e gás natural são significativas e incluem a combustão de gás natural e subprodutos da extração, durante as operações de *flaring*. Cabe esclarecer que o *flaring* é a combustão proposital do gases que estaria sendo emitido para a atmosfera, por questões técnicas de segurança e/ou por impossibilidade de transporte e comercialização, devido a fatores técnicos e/ou econômicos. O principal elemento desta mistura é o metano. No caso do gás natural, ele possui um Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential – GWP) para um período de 100 anos, 23 vezes superior ao CO<sub>2</sub>. Por este motivo, do ponto de vista do aquecimento global, a combustão do metano - e a emissão de dióxido de carbono inerente à combustão – é mais adequada do que a emissão do metano diretamente para a atmosfera, mesmo que esta combustão não seja aproveitada em termos energéticos, o que, contudo pode ocorrer, melhorando ainda mais o balanço a favor da mitigação do aquecimento global. Recentemente, a mitigação passou a constituir justificativa adicional para o estabelecimento do *flaring* de gás natural e de outras atividades que resultem na combustão do metano (PEREIRA, 2002).

Os produtos elaborados em uma refinaria, chamados comumente de derivados de petróleo, possuem uma quantidade significativa de emissões de gás metano associadas ao seu processo. As emissões de metano estão presentes em várias fases desde a extração, passando pelo transporte uma vez que parte deste gás encontra-se dissolvido no óleo, até o refino onde ocorrem operações de fuga, ventilação e queima de vapores não aproveitados no processo. Tipicamente, estas emissões podem ser oriundas de operações normais, manutenção, regulagens do sistema e acidentes representando uma posição relevante apesar das variações existentes para cada região de exploração, perfil de extração e processamento existentes. A

Tabela 8 apresenta uma relação das principais fontes de emissões de metano geradas nas atividades de extração, processamento e transporte de petróleo e gás natural.

Tabela 8 - Emissões de metano geradas no processamento de petróleo e gás natural

Segmento	Principais Fontes de Emissões	Outras Possibilidades de Emissões
<b>Produção de Petróleo e Gás</b> Petróleo beneficiado Linhas de alimentação e transporte de fluidos (oleodutos, gasodutos,...); Unidades de beneficiamento	Ventilação Operações normais: emissões fugitivas; vazamentos deliberados decorrentes de aparelhos pneumáticos e processo de ventilação	Queima de gases residuais de processo (flare), manutenção desvios de processo e acidentes
<b>Transporte e Refino de Petróleo</b> Tubulações, condutos Tanques Tanques de armazenagem Refinarias	Operações normais: emissões fugitivas; vazamentos deliberados decorrentes de processos de ventilação em refinarias, durante carga e descarga de reservatórios de armazenagem	Queima de gases residuais de processo (flare), manutenção desvios de processo e acidentes
<b>Processamento de Gás Natural, Transporte e Distribuição</b> Plantas de gás Reservatórios de armazenagem subterrâneos Gasodutos Condutos de Distribuição	Operações normais: emissões fugitivas; vazamentos deliberados decorrentes de processos pneumáticos e de ventilação	Queima de gases residuais de processo (flare), manutenção desvios de processo e acidentes

Fonte: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual Revised, 1996.

Informações colhidas na última década indicam que a produção e o transporte de gás natural explorado na região compreendida pela antiga União Soviética e leste europeu representam as fontes de emissões mais significativas do mundo, chegando próximo da metade das emissões globais de metano geradas pelas atividades de processamento de petróleo e gás. Rabchuk et al. (1991) reporta que as perdas relacionadas à produção e transporte de gás nesta região são muito altas, em torno de 3 a 7% do total do gás produzido (IPPC, 1996). Porém, como os registros ligados a estas atividades são bastante limitados, o IPCC recomenda que estimativas regionais e globais de emissões de metano sejam classificadas como informações de “alta incerteza” (Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual).

Ao longo das etapas de processamento e transporte do gás natural, existem diversas atividades necessárias ao controle da pressão e vazão do fluido transportado, incluindo

manutenção de estações de compressão, localizadas ao longo do gasoduto. Estas atividades podem usar o gás como combustível e gerar emissões de metano, sendo importante considerá-las em um levantamento geral do ciclo de emissões. Em regra, a eficiência da combustão em flare situa-se entre 95 e 100%. Um estudo recente da Associação Norueguesa da Indústria do Petróleo aponta para a emissão de frações muito pequenas de metano não queimado em flare, atingindo menos de 0,1 % do gás queimado. A Tabela 9 relaciona os fatores de emissões de CH<sub>4</sub> resultantes das atividades de produção de petróleo e gás natural obtidas em cinco regiões do planeta.

Tabela 9 - Emissões de metano geradas em atividades de petróleo em distintas regiões.

Tipo de Fonte	Região	Europa Ocidental	Estados Unidos e Canadá	Antiga União Soviética, Europa Oriental e Central	Outros Países Exportadores de Petróleo	Resto do Mundo
<b>PRODUÇÃO DE ÓLEO &amp; GÁS</b>						
Emissões fugitivas e outras emissões relacionadas com a manutenção na produção de petróleo	Produção de petróleo	300 - 5.000	300 - 5.000	300 - 5.000	300 - 5.000	300 - 5.000
Emissões fugitivas e outras emissões relacionadas com a manutenção na produção de gás	Produção de gás	15.000 - 27.000	46.000 - 84.000	140.000 - 314.000	46.000 - 96.000	46.000 - 96.000
Ventilação e queima de gases (flare) na produção de petróleo e gás	Produção de petróleo e gás <sup>(a)</sup>	-	3.000 - 14.000	-	-	-
	Produção de petróleo	1.000 - 3.000	-	-	-	-
	Produção de gás	-	-	6.000 - 30.000	758.000 - 1.046.000	175.000 - 209.000

a) Nos Estados Unidos e Canadá, as emissões são baseadas na produção total de petróleo e gás.

Fonte: US EPA (1994b), transcrito de Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual (1996)

Devido à considerável diversidade tecnológica de sistemas de extração, processamento e transporte de petróleo e gás no mundo, outras fontes não relacionadas nesta tabela podem apresentar contribuições significativas.

Uma atividade básica do refino é aquela que extrai do petróleo cru uma variedade de sub-produtos destacando-se os líquidos combustíveis, lubrificantes, coque, e compostos petroquímicos como o etileno. Dependendo do tipo de processo, matéria-prima e tecnologia empregada nos processos de fracionamento, conversão, filtração e mistura dos derivados produzidos, além do metano, outras emissões fugitivas significativas geram escape de compostos orgânicos voláteis não-metanos (NMVOC),  $\text{SO}_2$ , CO e  $\text{NO}_x$ . As emissões de NMVOC estão associadas à evaporação do fluido em reservatórios, liberação de gases na transferência e movimentação de fluidos, assim como em vazamentos.

Enquanto as taxas de emissão dependem de processos específicos e equipamentos empregados no refino de petróleo, seu estado de manutenção e operação e, ainda, da concentração de enxofre presente no óleo cru, uma estimativa mais simples pode ser feita baseada no fator de emissão do óleo cru, isoladamente. Esta condição é apresentada na Tabela 10 destacando-se de forma significativa as emissões de  $\text{SO}_2$  em relação aos demais poluentes gerados nesta atividade.

Tabela 10 – Fatores de emissão ( $\text{kg/m}^3$ ) não combustíveis em atividades de refino de petróleo – metodologia simples.

Poluente	Fator de Emissão	Fontes
$\text{SO}_2$ <sup>(a)</sup>	0,8	Torre de vácuo, reator catalítico (craqueamento), cocção de fluidos, plantas de produção de compostos sulfúricos, incineradores, processos de ventilação em reatores catalíticos, liberação de gases, outros
$\text{NO}_x$ <sup>(a)</sup>	0,05	Reator catalítico (craqueamento)
$\text{CO}$ <sup>(a)</sup>	0,08	Fluidos provenientes do processo de reação catalítica (craqueamento)
NMVOC <sup>(b)</sup>	0,53	Emissões fugitivas e de processos

Origem:

a) EMEP/CORINAIR (1996)

b) Baseado no CPPI e "Enviroment Canada" (1991)

Fonte: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual.

Ressalta-se que as emissões de NMVOC variam bastante; o valor proposto é uma média entre os fatores registrados como o melhor resultado de uma refinaria do oeste europeu ( $0,085 \text{ kg/m}^3$ ) e de uma refinaria russa ( $10 \text{ kg/m}^3$ ).

Os fatores de emissão de gases não queimados para uma refinaria que utiliza o processo de craqueamento catalítico do petróleo são apresentados na Tabela 11, ressaltando-se a participação significativa do poluente CO em relação aos demais gases listados:

Tabela 11 – Fatores de emissão ( $\text{kg/m}^3$ ) não combustíveis em atividades de refino de petróleo – processo de craqueamento catalítico.

Poluente	Fator de Emissão (valor)	Fator de Emissão (faixa)
$\text{SO}_2$	1,4	0,286 - 1,505
$\text{NO}_x$	0,2	0,107 - 0,416
CO	39,2	NA
NMVOC	0,6	NA

Fonte: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual.

### *2.3.1.2 Considerações Sobre a Emissão de Gases Poluentes na Produção de Álcool*

Em toda análise a respeito do comportamento dos poluentes atmosféricos há que se ter sempre presente a variação da composição dos combustíveis no Brasil, fato importante na emissão de poluentes pelos veículos automotores. O Programa Nacional do Álcool - PROÁLCOOL teve seu início em 1979 e a partir daí ocorreram importantes modificações nas composições dos combustíveis utilizados nos veículos automotores. As duas principais considerações a serem feitas compreendem a adição de álcool anidro à gasolina, eliminando a necessidade de adição de compostos de chumbo neste combustível. Em 1990 foi dado importante passo, com a redução drástica deste poluente na atmosfera, possibilitando, ainda, que os veículos passassem a ser equipados com catalisadores, para atendimento de limites mais restritivos do Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). A mistura do álcool anidro iniciou em 1979 com 15% e chegou a 22% nos anos seguintes. Em 1990 foi introduzida a mistura conhecida por MEG (metanol 33% - etanol 60% - gasolina 7%). Paralelamente, foram desenvolvidos motores para combustão de álcool hidratado os quais chegaram a representar metade da frota paulista em 1989. Em dezembro de 2000, o número de veículos registrados na região metropolitana de São Paulo movidos a álcool hidratado correspondia a 18%, a gasolina 76% e os veículos a Diesel a 6% (Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso - PCPV para o Estado de São Paulo, 2000).

Uma revisão interessante encontra-se em Macedo (2000). Ele afirma que a produção e utilização da cana-de-açúcar no Brasil caracterizam-se por serem atividades de grande porte atingindo cerca de 300 milhões de toneladas de cana por ano em 1998 por levarem, no seu conjunto, a grandes excedentes energéticos. Em 1997, a produção brasileira de cana-de-açúcar

atingiu 25% da produção mundial. A alta proporção de etanol nos produtos finais (14.8 milhões t açúcar e 15.3 milhões m<sup>3</sup> etanol, em 1997) e o uso em larga escala do bagaço como combustível, tornaram a indústria de cana no Brasil o maior programa comercial de biomassa para energia existente no mundo. Atualmente, com relação às emissões de GEE, o sistema agroindustrial da cana aparece com grande destaque como mitigador de emissões em uma escala importante. O autor cita valores atualizados para os fluxos de energia na agroindústria da cana e na produção de etanol de forma agregada. Estes dados indicam que para cada unidade de energia fóssil usada no ciclo agroindustrial, 9,2 unidades de energia renovável são obtidas. Esta elevada relação 'produção renovável / consumo fóssil' é a base para os efeitos de mitigação obtidos hoje pelo setor. Uma análise do setor como um todo, com o 'mix' atual de açúcar e álcool, foi elaborada para permitir a quantificação da mitigação de emissões de GEE. Como consequência, na situação atual o setor proporciona uma redução líquida de 206 kg CO<sub>2</sub>/t cana processada.

Com relação aos GEE, os principais efeitos da produção de cana-de-açúcar são:

- a) aumento no CO<sub>2</sub> atmosférico pelo uso de combustíveis fósseis e insumos produzidos com energia fóssil na produção agrícola/industrial de açúcar e álcool;
- b) redução na taxa de emissões de CO<sub>2</sub> pela substituição de gasolina por etanol e óleo combustível por bagaço em outros setores de produção.

A Tabela 12 apresenta as emissões de CO<sub>2eq</sub> incluindo as emissões de CH<sub>4</sub> oriundas de queimadas, produção de vinhoto e operação de caldeiras, emissões de GEE em motores a álcool e emissões de N<sub>2</sub>O do solo.

Tabela 12. - Emissões líquidas de GEE na agroindústria de cana-de-açúcar\*

<b>Atividade</b>	<b>10<sup>6</sup> t C (equiv.)/ano</b>
Uso de combustíveis fósseis na agroindústria	+ 1,28
Emissões de Metano na queima da cana	+ 0,06
Emissões de N <sub>2</sub> O	+ 0,24
Substituição de bagaço por óleo combustível (ind. química, alimentos)	- 5,20
<b>Contribuição líquida (redução na emissão de C)</b>	<b>- 3,61</b>

\* Exclui a parcela de emissões renováveis, relativa a substituição de gasolina por álcool hidratado.

Fonte: Macedo, 2000.

Considerando as tendências atuais e possibilidades de acréscimo da mitigação, existem algumas possibilidades de aumento significativo no desempenho do setor para reduções adicionais nas taxas de emissão de GEE no país, destacando-se:

- a) o aumento na produção de etanol: neste caso, a contribuição do aumento na produção de etanol seria avaliado quanto à redução de emissões conforme mencionado anteriormente;
- b) o aumento da biomassa disponível para substituição de combustíveis fósseis: consiste no desenvolvimento de ações destinadas à redução das áreas de queima de cana. Embora as emissões de GEE (não CO<sub>2</sub>) na queima da cana sejam pequenas (1 a 5 kg CO<sub>2</sub>/t cana) a redução de área queimada com uso energético da palha pode gerar uma grande contribuição adicional. Reduções de 55% da área queimada, com recuperação de apenas 50% de palha nesta área, evitariam a emissão de 25 x 10<sup>6</sup> t CO<sub>2</sub>/ano (com tecnologias avançadas de conversão termo-elétrica) ou até 50% desta emissão, com ciclos a vapor convencionais.

No Estado de São Paulo a Legislação Estadual prevê a eliminação da queima da cana-de-açúcar em 8 anos, a partir de 1998, para as áreas passíveis de serem colhidas mecanicamente, e em 15 anos para as áreas não mecanizáveis. A Legislação Federal (Decreto Federal nº 2661, de 08/07/98) também prevê uma redução da queima de cana, estabelecendo um cronograma de redução apenas para as áreas mecanizáveis, a uma taxa de 25% a cada 5 anos.

Embora a taxa de redução possa variar de acordo com a região, é razoável afirmar que, pelo menos 55% da área de cana no Estado de São Paulo, será colhida sem queimar. Macedo (2000), analisando dados da publicação *Atmospheric pollutant emissions from open burning of sugar cane by wind tunnel simulations - Final Report (1995)*, ao realizar uma avaliação global conclui que a redução de poluentes varia para o CH<sub>4</sub> de 0,03 a 0,2 kg/tC, para o CO entre 1,8 e 4,1 kg/tC e para o NO<sub>x</sub> entre 0,1 e 0,3 kg/TC.

Entre várias modalidades possíveis para obter aumento na eficiência de conversão da biomassa da cana para gerar energia, cabe destacar a recuperação e utilização da palha como fonte energética. A análise de diversas alternativas feita por Macedo (2000) interpreta dados extraídos do relatório *Energy Balance / CO<sub>2</sub> Emission (1998)*. Ele considera ainda uma situação futura contando com tecnologia mais avançada para o uso da biomassa como energético (essencialmente, gaseificação e uso de turbinas a gás). São considerados apenas dois cenários (alternativas tecnológicas) para a recuperação da palha (apenas 55% da área), cada um deles com seus respectivos consumos internos de energia. Os resultados são mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 - Emissões de carbono com o uso parcial da palha e aumento nas taxas de conversão

Cenário	Palha disponível adicional (tms/TC)	Bagaço total (tms/TC)	(1) <u>Futuro:</u> Biomassa disponível (tms/TC)	(2) <u>Futuro:</u> Comb. equiv. em óleo (kg/TC)	(3) <u>Presente:</u> Energia do bagaço, equiv. óleo (kg/TC)	(4) Comb. adicional, equiv. óleo (kg/TC)	(5) Variação emissões, (kg CO <sub>2</sub> /TC)
R2 - Corte da cana picada e transporte de 100% da palha	0,075	0,14	0,215	77,0	35,5	+41,5	-139,0
R3 - Corte da cana picada (com extrator) e transporte de 50% da palha	0,0375	0,14	0,177	61,7	35,5	+26,2	-87,5

Fonte: MACEDO (2000).

Observações:

- (1) Todo bagaço e a palha recuperada serão usados no ciclo de gasificação/turbinas; a palha corresponde a apenas 55% da área total.
- (2) Considerando: 10% de perdas com secagem/condicionamento (bagaço)  
10% de perdas na gasificação; gasif. a 15% umidade (efic. quente)
- (3) Considerando: 10% de perdas com acondicionamento, paradas e partidas  
21,3% de perdas na combustão (ef. média 78,7% PCI)  
Combustão a 50% de umidade  
Eficiência de caldeira a óleo (hipotética): 92% (PCI)
- (4) Equivalência já no uso final: Coluna 2 - Coluna 3
- (5) 0,020 tC/GJ, ou 0,073 t CO<sub>2</sub>/GJ para diesel ou óleo combustível

A tabela 14 resume o efeito total de mitigação, para as hipóteses consideradas.

Tabela 14 - Variação total nas emissões de CO<sub>2</sub> (uso parcial da palha como combustível)

<b>Rotas</b>	<b>Consumo de óleo Diesel na produção (kg CO<sub>2</sub>/TC)</b>	<b>Substituição de combustível fóssil (kg CO<sub>2</sub>/TC)</b>	<b>Total (kg CO<sub>2</sub>/TC)</b>	<b>Brasil: 300 x 10<sup>6</sup> TC/ano (10<sup>6</sup> t CO<sub>2</sub>/ano)</b>
R2 - Corte da cana picada (extrator off) e transporte de 100% da palha	+ 7,3	- 139	- 132	- 39,6
R3 - Corte da cana picada (com extrator) e transporte de 50% da palha	+ 2,3	- 87,5	- 85	- 25,5

Fonte: MACEDO (2000).

Com as tecnologias atuais a hipótese de corte da cana picada (com extrator) e transporte de 50% da palha é a mais plausível (sob o ponto de vista de disponibilidade da palha: 55% da área, 50% de recuperação). Os exemplos avaliam um potencial que poderá ser realizado gradativamente. Os valores são muito elevados e justificam o empenho do setor na busca de valorização do esforço de mitigação. Existem tecnologias, em grande parte já desenvolvidas, que poderão ser apropriadas pelo setor industrial a curto prazo (geração convencional, com ciclos a vapor) e outras em desenvolvimento, a médio prazo (etanol por hidrólise de lignocelulósicos, ciclos de geração com gasificação e turbinas a gás).

Atualmente no Brasil, o ciclo de produção de cana / uso dos produtos representa uma grande contribuição à mitigação das emissões globais de CO<sub>2</sub>, principalmente pelo uso energético do etanol e bagaço na substituição de combustíveis fósseis. Neste ciclo a queima

da cana antes da colheita é um processo gerador de gases de efeito estufa; sua eliminação, mesmo parcial como proposta hoje, traz um novo potencial de mitigação (eliminação dos GEE não – CO<sub>2</sub>, gerados e substituição de combustíveis fósseis).

#### 2.4 MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO DA LINHA DE BASE NA ATIVIDADE DE TRANSPORTE

No âmbito do MDL, a linha de base de uma atividade de projeto é o cenário que representa, de forma razoável, as emissões antrópicas de gases de efeito estufa por fontes que ocorreriam na ausência da atividade de projeto proposta, incluindo as emissões de todos os gases, setores e categorias de fontes listados no Anexo A do Protocolo de Kyoto que ocorram dentro do limite do projeto. As RCEs são calculadas justamente pela diferença entre emissões da linha de base e emissões verificadas em decorrência das atividades de projeto do MDL, incluindo as fugas. A linha de base é qualificada e quantificada com base em um Cenário de Referência.

Considerando que, até o presente momento, diversos métodos têm sido apresentados porém não aprovados oficialmente pela entidade operacional ligada à Conferência das Partes, supõe-se que enquanto não sejam divulgados modelos oficiais padronizados, para cada tipo de atividade de projeto, diferentes aproximações possam ser propostas para estabelecer a redução de GEE.

Uma boa referência para entendimento da metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil encontra-se em Álvares Junior; Linke (2003). Conforme os autores, para determinação da linha de base segundo as diretrizes da publicação “Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National

Greenhouse Inventories – Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, as emissões de gases do efeito estufa de fontes móveis são melhor calculadas pela quantidade de combustível queimado, seu teor carbônico e as emissões correspondentes de CO<sub>2</sub>, (método *Tier-1* ou *top-down*).

As emissões veiculares de metano (CH<sub>4</sub>) contido nos hidrocarbonetos não queimados (HC), de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), bem como as de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), que também contribuem direta ou indiretamente para o efeito estufa, são mais difíceis de estimar com precisão. Seus fatores de emissão típicos, além de serem extremamente reduzidos, quando comparados aos de CO<sub>2</sub>, dependem de detalhado conhecimento da tecnologia de motorização, das condições de manutenção dos motores, da qualidade do combustível e das diversas características da operação. No entanto, esses cálculos podem ser feitos a partir desses fatores de emissão e da quilometragem média percorrida (método *Tier-2* ou *bottom-up*) - ou da quantidade de combustível consumido (método *Tier 1* ou *top-down*) - de cada subgrupo de veículos da frota com características similares, desde que esses dados existam e sejam confiáveis.

O IPCC recomenda que, nesses casos onde a confiabilidade das informações disponíveis é pobre, os cálculos sejam feitos apenas para as categorias-chave (*key-source categories*), que representam a parcela predominante das emissões de GEE no universo considerado. O cálculo do inventário dos GEE pela quilometragem anual e pelo consumo teórico de combustível, em litros por quilômetro - ou a partir dos fatores de emissão - método *bottom-up*, pode ser menos preciso que pelo consumo global anual de combustível (*top-down*). A escolha da metodologia dependerá da qualidade dos dados primários locais existentes. O IPCC incentiva os especialistas a desenvolverem fatores de emissões locais para

serem utilizados como alternativa adicional no cálculo do inventário de GEE, visando à aferição dos resultados e, conseqüentemente, à melhoria da qualidade da informação.

Segundo o relatório do IPCC, o CO<sub>2</sub>, é responsável por mais de 97% das emissões totais de GEE de fontes móveis. Os especialistas do IPCC julgam que a incerteza dos cálculos para esse gás é da ordem de 5%, oriunda principalmente da operação, mais do que das imprecisões nos fatores de emissão. Por sua vez, o N<sub>2</sub>O e o CH<sub>4</sub> contribuem, grosso modo, com cerca de até 3% e 1%, e as incertezas são de cerca de 50% e 40%, respectivamente, devidas principalmente aos fatores de emissão. A Tabela 15 resume as incertezas relativas às emissões de GEE citadas.

Tabela 15. - Incertezas relativas às emissões de gases formadores do efeito estufa.

<b>Emissões Diretas</b>	<b>Incerteza</b>	<b>Fonte da Incerteza</b>	<b>Obs.</b>
CO <sub>2</sub> = 97%	5%	Operação	
N <sub>2</sub> O = 3%	50%	Fator de Emissão	
CH <sub>4</sub> = 1%	40%	Fator de Emissão	
CO < 1%	-	-	Fração oxidada na atmosfera
HC < 1%	-	-	

Fonte: Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Inventories - Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Uma pequena porção do carbono de processos de combustão escapa à oxidação, na forma de CO e HC, mas a maior parte dessa é oxidada posteriormente na atmosfera. O IPCC assume que a pequena parcela remanescente que não se oxida, inferior a 1% do carbono submetido à queima, é armazenada permanentemente na forma de material particulado e cinzas.

Dessa forma, pela sua predominância e incertezas inerentes a esses cálculos, pela simplicidade e relativa confiabilidade do método e, em muitos casos, pela inexistência de fatores de emissão precisos para N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>, considera-se como boa prática na elaboração de inventários de GEE, a estimativa das emissões baseada somente nos dados relativos a CO<sub>2</sub>.

Na ausência de fatores de emissão locais, aqueles para fontes móveis (*road vehicles*) recomendados no (REVISED 1996 IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – The Reference Manual – Volume 3 - Energy podem ser utilizados como referência. Entretanto, devem ser sempre levadas em consideração as diferenças entre a composição dos combustíveis automotivos utilizados no Brasil - especialmente para veículos a gasool (gasolina do tipo C com 22 a 25% de etanol anidro) e etanol hidratado puro - e a dos países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE e Estados Unidos, de onde se originam os fatores de emissão do IPCC.

Os cálculos das emissões de gases do efeito estufa pelo método *bottom-up* podem ser realizados como procedimento adicional ao método *top-down*, desde que existam dados locais detalhados e confiáveis sobre a tecnologia de motorização utilizada, qualidade do combustível, consumo, quilometragem, fatores de emissão levantados em laboratórios locais, estado de manutenção da frota etc, para cada subgrupo de veículos com características similares. O IPCC recomenda essa prática como forma de aferição dos cálculos e conseqüente melhoria da qualidade da informação.

### 2.4.1 Emissões Diretas

Consideram-se emissões diretas aquelas que ocorrem dentro dos limites da atividade de projeto. Para uma estimativa simplificada das emissões de GEE de uma frota veicular movida originalmente a gasool (gasolina do tipo C), através do método *top-down* já mencionado, considera-se que a mesma possui p% (p varia conforme determinações da Agência Nacional do Petróleo - ANP) de etanol anidro adicionado à gasolina.

As emissões de CO<sub>2</sub>, são estimadas a partir do consumo total de gasool consumido pela frota em volume (m<sup>3</sup>), do fator de conversão - Fconv ponderado do gasool, expresso em tEP/m<sup>3</sup>, e do fator de emissão do gasool - Femissgasool, expresso em tC/TJ, calculados a partir da proporção de etanol adicionado à gasolina:

$$a) \text{ Fconv ponderado}_{\text{gasool}} = [\text{Fconv}_{\text{gasol}} \times (100-p) + \text{Fconv}_{\text{álcool anidro}} \times p] / 100;$$

$$b) \text{ Femiss ponderado}_{\text{gasool}} = [\text{Femiss}_{\text{gasol}} \times (100-p) + \text{Femiss}_{\text{álcool anidro}} \times p] / 100.$$

De acordo com técnicos da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), os fatores de emissão de CO<sub>2</sub>, de origem fóssil, para veículos movidos a gasool, são mais baixos quando comparados àqueles dos veículos movidos a gasolina pura, uma vez que o etanol anidro (aditivo com função oxigenante e anti-detonante) misturado à gasolina tem sua origem em fonte de energia renovável e não deve ser computado para fins de inventário de emissões de GEE. Entretanto, o IPCC recomenda que a parcela de CO<sub>2</sub>, de origem renovável seja relatada. Da mesma forma, é recomendável que as emissões evitadas de

CO<sub>2</sub>, fóssil, que seriam originadas se os veículos operassem com gasolina pura, deve ser estimada para fins de verificação do benefício do uso das fontes alternativas de energia, em relação às mudanças climáticas. (ÁLVARES JR.; LINKE, 2003).

A massa total de CO<sub>2</sub>, emitida na queima de um litro de gasool contendo 22% de álcool anidro é 2,098 kg. Portanto, a porção de CO<sub>2</sub> fóssil da queima dos 78% de gasolina corresponde a 84,2% do total e a porção renovável dos 22% de etanol anidro corresponde a 15,8% do total de CO<sub>2</sub>, emitido. Repetindo-se os mesmos cálculos para o gasool com 25% de etanol anidro, conclui-se que a porção de CO<sub>2</sub>, fóssil da queima dos 75% de gasolina corresponde a 81,9% do total e a porção renovável dos 25% de etanol anidro corresponde a 18,1% do total de CO<sub>2</sub>, emitido.

Para o gasool com composições distintas, mas próximas de 22% ou 25%, admite-se o cálculo desses percentuais por interpolação. Admitindo-se que a composição da gasolina brasileira média é C<sub>7</sub>H<sub>13,2</sub>, chega-se a um percentual de 84,56% de CO<sub>2</sub>, fóssil correspondente à gasolina e 15,44% de CO<sub>2</sub>, renovável correspondente ao etanol anidro, para o gasool contendo 22% de álcool anidro. Com essa diferença de cerca de 1% em relação ao cálculo feito considerando a gasolina como octano, recomenda-se, por simplicidade, o uso do octano como referência para os cálculos estequiométricos.

Para estimar as emissões evitadas de CO<sub>2</sub>, fóssil em decorrência do uso de etanol anidro misturado à gasolina, é necessário saber quais seriam as emissões de CO<sub>2</sub>, produzidas se a mesma frota fosse composta por veículos movidos a gasolina pura e rodasse a mesma distância percorrida pelos veículos a gasool. O problema se resume em determinar o volume

de gasolina que seria utilizado nesse percurso, que é diferente do volume de gasool utilizado, em razão dos diferentes potenciais energéticos dos dois combustíveis em questão.

Sabe-se que o calor específico da gasolina pura é 10100 kcal/kg e o do etanol é 6500 kcal/kg. Portanto, a energia contida em cada litro de combustível consumido, é de:

$$10100 \text{ kcal/kg} \times 0,740 \text{ kg/l} = 7474 \text{ kcal/l para a gasolina e,}$$

$$6500 \text{ kcal/kg} \times 0,791 \text{ kg/l} = 5141 \text{ kcal/l para o etanol}$$

Para um veículo movido a gasool contendo 22% de álcool anidro, admite-se que a energia contida em um litro de combustível será proporcional aos respectivos volumes de gasolina e etanol anidro;

$$0,78 \times 7474 \text{ kcal/l} + 0,22 \times 5141 \text{ kcal/l} = 6961 \text{ kcal/l}$$

A relação entre as energias contidas em um litro de gasool e gasolina pura é, portanto:  $6961/7474 = 0,9314$ . Daí, conclui-se finalmente que, para um mesmo volume de combustível consumido, o trabalho realizado (ou a distância percorrida) por um veículo à gasool pode ser até 6,86 % menor que aquele realizado pelo veículo à gasolina pura.

## 2.5 MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO NA NOVA LINHA DE BASE

### 2.5.1 Emissões Diretas – Combustível Álcool Hidratado

Devem-se considerar as emissões dos veículos a álcool como emissões renováveis, uma vez que o balanço dessas emissões no ciclo de produção e consumo de álcool é considerado nulo e, portanto, não contribui para o aumento da carga de GEE na atmosfera.

Para o cálculo das emissões evitadas, deve-se, portanto calcular pelo método *top-down* as emissões totais de CO<sub>2</sub>, fóssil para um volume total de gasolina pura 31,21% menor que o volume total de etanol hidratado consumido pela frota em questão.

### 2.5.2 Emissões Diretas – Combustível Gás Natural Veicular

As emissões de CO<sub>2</sub>, dos veículos movidos a gás natural são menores que as dos equivalentes a gasolina e Diesel, uma vez que o metano (principal componente do gás natural) tem menor teor carbônico por unidade de energia produzida. Por causa da sua composição, basicamente formada por CH<sub>4</sub>, o GNV apresenta baixo nível de emissões de NMVOC em relação à gasolina. Da mesma forma, não apresenta emissões evaporativas assim como apresenta baixos níveis de emissões no reabastecimento e partidas a frio (com motor frio). Da mesma forma que para os veículos Diesel, devem ser utilizados os fatores de emissão para os veículos a gás natural disponíveis na bibliografia. Esses fatores, recomendados pelo IPCC,

baseiam-se, para veículos leves de passageiros do ciclo Otto, em motores à gasolina equipados com kits de conversão. Para veículos pesados, o IPCC toma como base motores Diesel reconfigurados para operação em ciclo Otto, usando gás natural.

Os fatores de emissão são os representativos de veículos a gás natural americanos da tabela 1-43 do (REVISED 1996 IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – The Reference Manual – Volume 3 – Energy, conforme resumo a seguir:

- a) veículos de passageiros a gás natural com tecnologia avançada: veículos leves, originalmente movidos a gasolina, possuindo conversor catalítico em seu motor original produzido pela fábrica e compatível com o uso de gás natural. O consumo médio situa-se em 14,9 km/Nm<sup>3</sup> havendo possibilidade de aumento da taxa de compressão refletindo eficiência superior na queima do combustível:
- Fator de emissão de CO<sub>2</sub>: 133 g/km;
  - Fator de emissão de CO<sub>2</sub>: 2750 g/kg de combustível;
  - Fator de emissão de CO<sub>2</sub>: 56,1 g/MJ;
- b) veículos de passageiros a gás natural sem tecnologia avançada: veículos leves, originalmente movidos a gasolina, onde foi realizada uma típica conversão de gasolina para gás natural sem o emprego de catalisador ou qualquer outro tipo de otimização das emissões de escapamento. O consumo médio situa-se em 6,5 km/Nm<sup>3</sup> sendo assumido que nenhuma outra modificação foi aplicada além da regulagem da mistura e dos ajustes no sistema de ignição (centelhamento):
- Fator de emissão de CO<sub>2</sub>: 305 g/km;
  - Fator de emissão de CO<sub>2</sub>: 2750 g/kg de combustível;
  - Fator de emissão de CO<sub>2</sub>: 56,1 g/MJ.

Deve-se observar que, para fins de conversão dos fatores de emissão acima em base de volume de combustível consumido, a densidade do gás natural é de 0,74 kgNm<sup>3</sup>, conforme informação da Petrobrás à CETESB.

### **3 ESTUDO DE CASO – ESTIMATIVA DO BALANÇO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA DECORRENTES DA CONVERSÃO DE MOTORES DA FROTA DE VEÍCULOS TIPO TÁXI DE PORTO ALEGRE**

#### **3.1. PREMISSAS**

O presente estudo objetiva realizar: a) uma simulação das emissões de GEE na conversão de motores a gasolina (gasool) para o uso de GNV e álcool hidratado e; b) estimar os resultados dos balanços de emissões de GEE, provenientes da diferença apurada nos respectivos inventários - antes e depois da conversão de 100% dos motores. Como frota, tomou-se uma idêntica à frota de veículos automotores leves movidos originalmente a gasool, tipo táxi, registrados na cidade de Porto Alegre no ano de 2001.

Para caracterizar a frota de táxis do município de Porto Alegre, o primeiro passo foi realizar um levantamento do número de veículos ali circulantes. Os dados necessários foram fornecidos pelo DETRAN-RS (Departamento de Trânsito do Rio Grande do Sul) e EPTC - Empresa Pública de Transportes e Circulação de Porto Alegre (LEGGERINI, 2003). Ainda, segundo esta autora, a metodologia utilizada para se calcular as emissões geradas pela frota do município de Porto Alegre assemelha-se àquela adotada pela CETESB na cidade de São Paulo. Já as estimativas para estabelecer o consumo médio de combustível dos veículos foi baseada em dados fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Como emissões diretas foram consideradas aquelas produzidas pela queima do volume total de combustível consumido pelos veículos integrantes da frota veicular selecionada, antes e depois da conversão dos seus motores, contabilizados em base anual, durante dez anos sucessivos. A hipótese em questão considera a realização da conversão integral de toda a frota originalmente movida a gasool (GSL), a um só tempo, para um dos combustíveis alternativos, contabilizando-se as emissões da nova linha de base a partir do ano 2002.

O estudo não considera as emissões denominadas indiretas e as fugas (leakage), decorrentes de outras etapas do ciclo de vida dos veículos e dos combustíveis empregados como, por exemplo, as perdas existentes nos processos de produção, armazenagem, distribuição e comercialização de combustíveis.

### 3.2. LINHA DE BASE

Os métodos empregados na determinação da linha de base de emissões de GEE seguem as diretrizes estabelecidas pelo Protocolo de Kyoto. Conforme já citado, o IPCC considera como boa prática na elaboração de inventários de GEE a estimativa de emissões baseada somente nos dados relativos ao CO<sub>2</sub>, devido as incertezas para quantificação dos demais gases.

Para obter maior precisão na estimativa dos resultados, inicialmente, pretende-se estimar as emissões de gases formadores do efeito estufa na frota movida a combustível gasool utilizando como dado básico a quantidade de combustível queimado, seu teor carbônico e as emissões correspondentes de CO<sub>2</sub> (método *Tier-1* ou *top-down*).

Paralelamente, seguindo recomendação do IPCC, também será estimado pelo método alternativo (Tier-2 ou bottom-up) o nível de emissões de CO<sub>2</sub>. Porém, neste caso, como os dados disponíveis não esclarecem qual o tipo de tecnologia pode ser considerado como fator médio da frota selecionada (tecnologia avançada ou não), serão realizados cálculos com os dois fatores de emissão apresentados.

A linha de base original deste estudo foi determinada pelas emissões de GEE decorrentes da queima do combustível gasool, consumido pela frota selecionada de veículos leves tipo táxi registrados na cidade de Porto Alegre, no período compreendido pelos 12 meses iniciais do projeto, ou seja, o ano de 2001.

O gráfico de barras da Figura 10 apresenta uma estratificação da frota composta por 3.769 veículos tipo táxi, movidos a gasolina (gasool) registrados na cidade de Porto Alegre, RS, em 2001, agrupados por ano de fabricação.

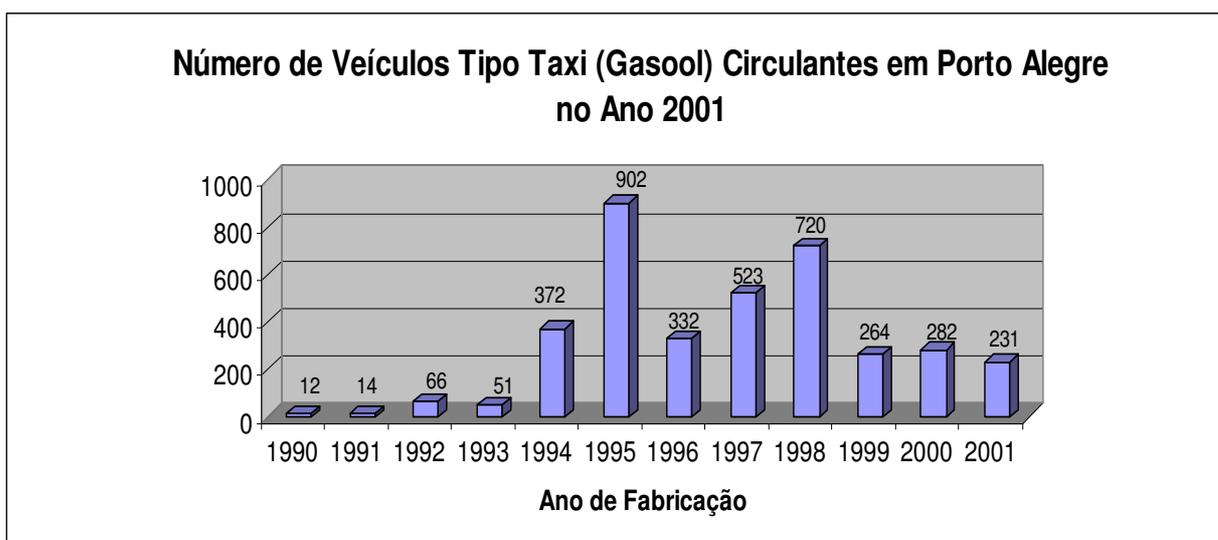


Figura 10 – Frota de veículos tipo táxi registrados no ano de 2001 - município de Porto Alegre  
Fonte: EPTC – Empresa Pública de Transportes e Circulação (2002); transcrito e adaptado de LEGGERINI (2003)

A Figura 11 ilustra a distribuição percentual dos veículos aglutinando os veículos fabricados no ano de 1994 com os demais produzidos em anos anteriores. Analisando-se os dados, é possível concluir que 53% da frota avaliada apresenta 5 anos ou menos de uso.

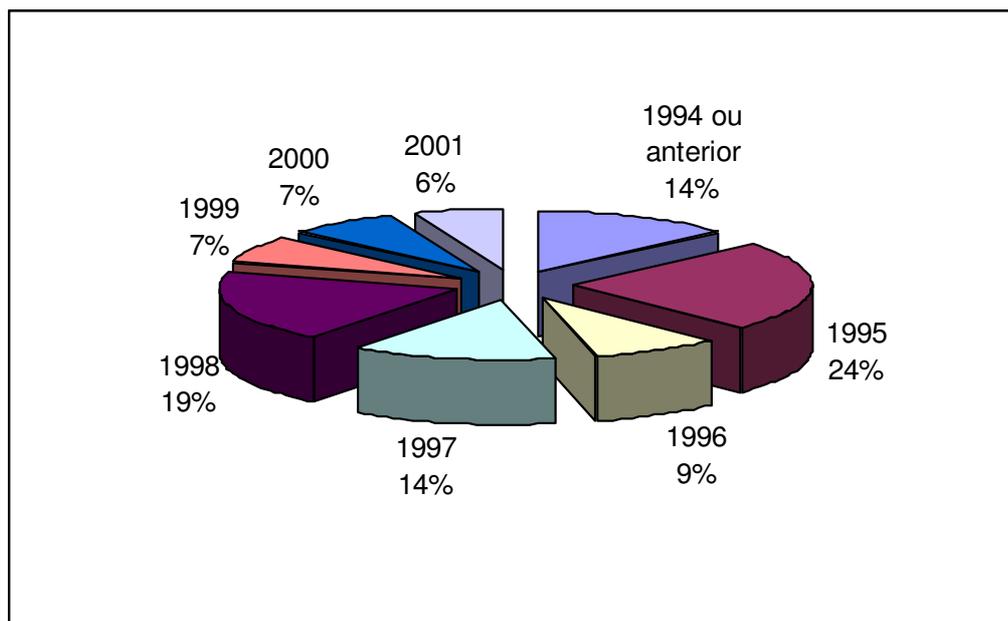


Figura 11 – Distribuição percentual da frota de veículos tipo táxi, circulante em Porto Alegre no ano de 2001, movidos a gasool.

Fonte: EPTC – Empresa Pública de Transportes e Circulação (2002); transcrito e adaptado de Leggerini (2003).

LEGGERINI, estima a distância anual percorrida e o volume de combustível (gasool), em termos absolutos e relativos, consumido pela frota selecionada (veículos tipo táxi) circulante em Porto Alegre durante o ano de 2001. Estes dados são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. - Distância anual percorrida pela frota e consumo de combustível dos veículos tipo táxi (gasool) durante o ano de 2001, classificados por ano de fabricação do veículo.

Ano de Fabricação	N. de Veículos	Consumo Médio (km/litro)	Consumo por grupo (litros)	Distância percorrida por grupo (km)
1990	12	9,9	15.809	156.509
1991	14	10,0	20.288	202.880
1992	66	9,8	108.441	1.062.722
1993	51	9,8	93.106	912.439
1994	372	9,7	762.363	7.394.921
1995	902	9,8	2.017.035	19.766.943
1996	332	9,8	831.415	8.147.867
1997	523	9,8	1.309.729	12.835.344
1998	720	9,8	1.803.068	17.670.066
1999	264	11,0	230.271	2.532.981
2000	282	12,0	226.555	2.718.660
2001	231	12,0	169.861	2.038.332
<b>Total</b>	<b>3.769</b>		<b>7.587.941</b>	<b>75.439.664</b>

Fonte: Leggerini (2003).

Aparentemente, tendo por base uma coleta aleatória de informações pontuais sobre a distância percorrida pelos motoristas de táxi desta cidade, a quilometragem anual efetiva deste tipo de veículo pode ser bastante superior ao valor apurado dos dados citados na tabela anterior (média aproximada de 20.000 km/ano, por veículo). Tal hipótese, se confirmada, refletirá sobre os resultados absolutos do balanço de emissões de CO<sub>2</sub> apresentados neste trabalho, classificando-os como conservadores.

### 3.3 SIMULAÇÕES

Considerando-se o período de coleta de 12 meses, com base nos dados da frota selecionados fornecidos para o ano de 2001, já citados na Tabela 16, as seguintes simulações foram desenvolvidas:

- a) Cenário 1: conversão integral da frota para gás natural veicular, projetando-se o resultado anual da diferença de emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo consumo de combustível original e o combustível alternativo (GNV);
  
- b) Cenário 2: conversão integral da frota para álcool hidratado, projetando-se o resultado anual da diferença de emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo consumo de combustível original e o combustível alternativo (AH).

O resultado final de cada um dos cenários selecionados foi obtido a partir da soma das quantidades de CO<sub>2</sub> emitidas pela variação das emissões diretas considerando-se um período de 10 anos de emissões acumuladas, conforme previsto na regulamentação do MDL. Conforme recomenda o IPCC, para cálculo das emissões da linha de base original e da nova linha de base, foram realizadas duas estimativas de cálculo distintas: a) o método Tier-1 ou *top-down* que considera a quantidade de combustível queimado, seu teor carbônico e as emissões correspondentes de CO<sub>2</sub>; b) o método Tier-2 ou *bottom-up* que considera os fatores de emissão e a quilometragem média percorrida.

Inicialmente, pelo método Tier-1, a quantidade de combustível consumida em base anual foi convertida em quantidade de energia equivalente e, a partir daí, calculada a respectiva quantidade de emissões de CO<sub>2</sub>. Posteriormente, os dados obtidos pela primeira alternativa foram comparados com aqueles estimados pelo método Tier-2. Nas duas situações, a quantidade de emissões geradas anualmente foi considerada constante.

O balanço total de emissões acumuladas de CO<sub>2</sub>, projetadas para uma atividade de projeto (AP) com duração de 10 anos, foi obtido através da multiplicação do balanço anual

(diferença da quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> resultante da comparação entre as duas linhas de base) de acordo com a seguinte fórmula:

$$BE_{CO_2-TOTAL AP} = \sum BE_{CO_2 (1,10)}$$

como,

$$BE_{CO_2 (1)} = BE_{CO_2 (2)} = BE_{CO_2 (3)} \dots = BE_{CO_2 (10)}$$

temos,

$$BE_{CO_2-TOTAL AP} = \sum BE_{CO_2 (1,10)} = 10 * BE_{CO_2 (1)}$$

$$BE_{CO_2 (1)} = (E_{CO_2 LB}) - (E_{CO_2 NLB})$$

efetuando-se a substituição na equação inicial:

$$BE_{CO_2-TOTAL AP} = 10 * [ (E_{CO_2 LB}) - (E_{CO_2 NLB}) ]$$

onde,

$BE_{CO_2-TOTAL AP}$  é o balanço total de emissões de CO<sub>2</sub> projetadas durante o período de duração da atividade de projeto (10 anos);

$BE_{CO_2}$  é o balanço anual de emissões de CO<sub>2</sub>;

$E_{CO_2 LB}$  é a quantidade de emissões de  $CO_2$  calculada para a linha de base (LB) da atividade de projeto;

$E_{CO_2 NLB}$  é a quantidade de emissões de  $CO_2$  calculada para a nova linha de base (NLB) da atividade de projeto.

Para o cálculo das estimativas de emissões de GEE nos cenários selecionados pelo Método Tier 1, foram utilizadas as seguintes equações recomendadas pelo Ministério de Minas e Energia (MME) em 1999 no Balanço Energético Nacional (MATTOS, 2001):

$$E_{CO_2} = EC * (44/12)$$

sendo,

$$EC = CE * F_{EMISS}$$

e

$$CE = CC * F_{CONV} * tEP_{Brasil} * F_{CORR}$$

logo, substituindo os termos na equação inicial:

$$E_{CO_2} = [ CC * F_{CONV} * tEP_{Brasil} * F_{CORR} * F_{EMISS} * (44/12) ]$$

onde,

$E_{CO_2}$  é a quantidade de emissões de  $CO_2$  calculada, expressa em  $tCO_2$ ;

- CC é a quantidade de combustível consumida, expressa em l, m<sup>3</sup> ou kg;
- F<sub>CONV</sub> é o fator de conversão da unidade física de medida da quantidade de combustível para tEP, com base no poder calorífico superior (PCS) do combustível;
- tEP<sub>Brasil</sub> é a constante denominada tonelada equivalente de petróleo, equivalente a  $45,2 * 10^{-3}$  TJ;
- F<sub>CORR</sub> é o fator de correção de PCS para poder calorífico inferior (PCI);
- F<sub>EMISS</sub> é o fator de emissão de carbono, expresso em tC/TJ;
- (44/12) é a relação entre os respectivos pesos moleculares do CO<sub>2</sub> e do C;
- EC é a quantidade de emissões de carbono, expressa em tC;
- CE é a quantidade de energia consumida, expressa em TJ.

Para o cálculo das estimativas de emissões de GEE pelo Método Tier 2, foi utilizada a seguinte fórmula (ÁLVARES JÚNIOR; LINKE, 2003):

$$E_{CO_2} = [ DMPA * F_{EMISS-CO_2} * (1/1000) ]$$

onde,

E<sub>CO<sub>2</sub></sub> é a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> calculada, expressa em tCO<sub>2</sub>.

DMPA é a distância média percorrida anualmente, expressa em km;

F<sub>EMISS-CO<sub>2</sub></sub> é o fator de emissão de CO<sub>2</sub>, expresso em kgCO<sub>2</sub>/km;

(1/1000) é a relação entre as unidades de medida tonelada (t) e kg.

A Tabela 17 relaciona os parâmetros necessários para os cálculos mencionados, para cada tipo de combustível.

Tabela 17 – Relação de combustíveis e seus respectivos fatores de conversão para tEP, fatores de correção de PCS para PCI e fatores de emissão de carbono

Combustível	Fconv (tEP/m3)	Fcorr	Femiss (tC/TJ)
Álcool Anidro	0,520	0,95	14,81
Álcool Etanol Hidratado	0,496	0,95	14,81
Gás Canalizado - RJ	0,000361	0,90	
Gás Canalizado - SP	0,000435	0,90	
Gasolina	0,771	0,95	18,90
Gasool (22%)	0,716	0,95	18,00
GLP	0,601	0,95	17,20
Gás Natural Seco (GNV)	0,000857	0,90	15,30
Óleo Diesel	0,848	0,95	20,20

Fonte: (i) Fconv: MME (2000); (ii) Fcorr: MCT (2002); (iii) Femiss: IPCC (1996).

Desta forma, aplicando-se as fórmulas citadas para os cenários selecionados temos os resultados apresentados nos próximos capítulos.

### 3.3.1 Cálculo de Emissões de CO<sub>2</sub> para a Linha de Base

Considerando-se as premissas e dados disponíveis, as emissões de CO<sub>2</sub> para a linha de base foram calculadas da seguinte forma:

- a) método Tier 1, baseado no consumo de combustível gasool da frota, registrado no ano 2001:

$$E_{CO_2 LB} = CC_{LB} * F_{CONV LB} * tEP_{Brasil} * F_{CORR LB} * F_{EMISS LB} * (44/12)$$

- b) método Tier 2, baseado na distância percorrida pela frota movida a gasool, registrada no ano 2001:

$$ECO_{2\text{ LB}} = \sum DMPA_{2001} (\text{Frota } 1990, 2001)_{\text{LB}} * F_{\text{EMISS-CO}_2\text{ LB}} * (1/1000)$$

Obs: o  $F_{\text{EMISS-CO}_2\text{ LB}}$  adotado para veículos movidos a gasool é o fator de emissão fóssil, fornecido pela Tabela 18, descontando-se assim a parcela de contribuição de CO<sub>2</sub> gerado pelo álcool anidro (renovável) contida na mistura gasool, inserida no fator de emissão total.

Tabela 18 – Fatores de emissão de CO<sub>2</sub> para veículos a gasool (kg CO<sub>2</sub> / km)

Ano - Modelo	Fatores de Emissão Total (kgCO <sub>2</sub> /km)	Fatores de Emissão Fóssil (kgCO <sub>2</sub> /km)
anterior a 1992	0,175	0,147
1992	0,193	0,163
1993	0,193	0,163
1994	0,193	0,163
1995	0,207	0,174
1996	0,214	0,180
1997	0,217	0,183
1998	0,217	0,183
1999	0,217	0,183
2000	0,217	0,183
2001	0,217	0,183

Fonte: DALÁVIA & DE MELLO (2003)

Nota 1: Os valores dos fatores de emissão de CO<sub>2</sub> em g/km apresentados na Tabela 18 representam as médias da produção nacional a cada ano dos veículos leves de passageiros novos com cilindrada igual ou superior a 1000 c.c., ponderadas pelo volume de vendas de cada modelo. Só podem ser aplicados para o cálculo das emissões do CO<sub>2</sub> pelo método “bottom-up” para veículos utilizando a mistura gasool (22%). Recomenda-se não utilizar esses fatores como base para o cálculo de outros fatores de emissão destinados a estimativas de emissões de veículos que utilizam misturas de diferentes percentuais de etanol anidro.

Nota 2: Observa-se que os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> aumentam para os veículos mais novos. Isso se deve à ação do PROCONVE, que induziu a implementação de melhorias tecnológicas nos veículos para o atendimento de padrões de emissão de poluentes mais rigorosos. A melhoria da eficiência dos motores e os catalisadores transformam as emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos em dióxido de carbono e água, aumentando, portanto, as emissões de CO<sub>2</sub> dos veículos mais novos.

### 3.3.2 Cálculo de Emissões de CO<sub>2</sub> para as Novas Linhas de Base

Como novas linhas de base, foram considerados os seguintes cenários:

a) Cenário 1: conversão integral da frota para gás natural veicular (GNV);

- **Cenário 1-A - Método Tier 1**, baseado na projeção do consumo do novo combustível (GNV) considerando-se a equivalência energética com o combustível gasool, consumido pela frota no ano 2001;

$$E_{CO_2 \text{ NLB}} = CC_{\text{NLB}} * F_{\text{CONV NLB}} * tEP_{\text{Brasil}} * F_{\text{CORR NLB}} * F_{\text{EMISS NLB}} * (44/12)$$

- Método Tier 2, baseado na projeção da distância percorrida equivalente àquela percorrida na LB pela frota, registrada no ano 2001:

$$E_{CO_2 \text{ NLB}} = \sum DMPA_{2001} (\text{Frota } 1990, 2001) N_{\text{LB}} * F_{\text{EMISS-CO}_2 \text{ NLB}} * (1/1000)$$

Obs: considerando a qualidade das conversões de kits veiculares para combustível GNV, comentadas anteriormente e, ainda, devido a variação significativa (cerca de 230%) dos fatores de emissões de CO<sub>2</sub> geradas por veículos com tecnologia avançada e por veículos sem

tecnologia avançada, associada à ausência de informações para caracterizar este fator na frota selecionada, foram calculados os dois cenários possíveis;

- **Cenário 1-B** - Veículos com tecnologia avançada:  $F_{\text{EMISS-CO}_2 \text{ NLB}} = 0,133$  kgCO<sub>2</sub> / km (IPCC, 1996);

- **Cenário 1-C** - Veículos sem tecnologia avançada:  $F_{\text{EMISS-CO}_2 \text{ NLB}} = 0,305$  kgCO<sub>2</sub> / km (IPCC, 1996).

b) cenário 02: conversão integral da frota para álcool hidratado (AH).

Os cálculos deste cenário são realizados por recomendação do IPCC visando relatar a parcela de CO<sub>2</sub> de origem renovável. Para efeitos de uma atividade de projeto, dentro dos requisitos estabelecidos pelo MDL, o IPCC considera as emissões de GEE relativas ao álcool como renováveis pelo balanço global do ciclo da cana-de-açúcar. Desta forma, ao considerar estas emissões como zero, o balanço de emissões de CO<sub>2</sub> para a conversão de motores a gasool para álcool hidratado será sempre positivo e equivalente a quantidade de emissões apuradas na linha de base (LB), considerando-se as premissas estabelecidas neste trabalho.

- **Cenário 2-A** - Método Tier 1, baseado na projeção do consumo do novo combustível (AH) considerando-se a equivalência energética com o combustível gasool, consumido pela frota no ano 2001:

$$E_{\text{CO}_2 \text{ NLB}} = CC_{\text{NLB}} * F_{\text{CONV NLB}} * tEP_{\text{Brasil}} * F_{\text{CORR NLB}} * F_{\text{EMISS NLB}} * (44/12)$$

- **Cenário 2-B** - Método Tier 2, baseado na projeção da distância percorrida equivalente àquela percorrida na LB pela frota, registrada no ano 2001:

$$E_{CO_2 \text{ NLB}} = \sum DMPA_{2001} (\text{Frota } 1990, 2001) N_{LB} * F_{EMISS-CO_2 \text{ NLB}} * (1/1000)$$

Obs: o  $F_{EMISS-CO_2 \text{ NLB}}$  adotado para veículos movidos a álcool hidratado é fornecido pela Tabela 19.

Tabela 19 – Fatores de emissão de CO<sub>2</sub> para veículos a álcool hidratado (kg CO<sub>2</sub> / km)

Ano - Modelo	Fatores de Emissão Total (kgCO <sub>2</sub> /km)
anterior a 1992	0,174
1992	0,166
1993	0,166
1994	0,166
1995	0,165
1996	0,173
1997	0,175
1998	0,175
1999	0,175
2000	0,175
2001	0,175

Fonte: CETESB, transcrito de DALÁVIA; DE MELLO (2003).

A Tabela 20 resume os dados básicos empregados no cálculo de emissões dos cenários selecionados como atividade de projeto. A quantidade de combustível consumida na linha de base (gasool) serviu de base de cálculo, por equivalência energética, aos valores projetados dos consumos dos combustíveis alternativos.

Tabela 20 – Dados básico empregados nos cenários selecionados

Atividade de Projeto						
Cenário	Fonte - Atividade de Transporte (Taxi - Porto Alegre)	Perfil da Frota de Veículos (base 2001)	Metodologia	Tipo de Emissões	Quantidade da Atividade (10 anos)	Un.
Linha de Base	Frota de veículos - motores a gasolina	3.769	Tier 1	Direta	7.587.941	litros
		3.769	Tier 2	Direta	75.439.664	km
Nova Linha de Base - Cenário 01	Frota de veículos - motores a gás natural	3.769	Tier 1	Direta	6.689.656	m3
		3.769	Tier 2	Direta	75.439.664	km
Nova Linha de Base - Cenário 02	Frota de veículos - motores a álcool hidratado	3.769	Tier 1	Direta	10.950.194	litros
		3.769	Tier 2	Direta	75.439.664	km

#### 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E ESTIMATIVAS DE EMISSÕES

Os resultados dos balanços de emissões de CO<sub>2</sub> para os cenários selecionados são apresentados nas Figuras 12 a 18. As emissões anuais de CO<sub>2</sub> resultantes das alternativas simuladas são descritas na Tabela 21.

Tabela 21 – Resumo das emissões anuais de CO<sub>2</sub> para linha de base e cenários selecionados

<b>Emissões de CO<sub>2</sub></b>			
<b>Cenário</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Total de Emissões Não Fósseis (tCO<sub>2</sub> / ano)</b>	<b>Total de Emissões Fósseis (tCO<sub>2</sub> / ano)</b>
Linha de Base (GSL)	Tier 1	0	15.392,68
	Tier 2	0	13.402,77
Nova Linha de Base - Cenário 01 (GNV)	Tier 1 (Cenário 1-A)	0	13.083,64
	Tier 2 (Cenário 1-B) Veículos com Tecnologia Avançada	0	10.033,48
	Tier 2 (Cenário 1-C) Veículos sem Tecnologia Avançada	0	23.009,10
Nova Linha de Base - Cenário 02 (AH)	Tier 1 (Cenário 2-A)	12.664,62	0
	Tier 2 (Cenário 2-B)	12.903,29	0

Considerando-se o método Tier 1, a melhor alternativa corresponde ao “Cenário 2A” proporcionando uma redução de emissões equivalente a 153.926,82 tCO<sub>2</sub>, em um período de 10 anos, na hipótese de conversão do combustível gasool para álcool hidratado. Na sequência, a segunda melhor alternativa é aquela representada pelo “Cenário 1-A” proporcionando uma redução de emissões igual a 23.090 tCO<sub>2</sub> no caso da substituição de combustível gasool por gás natural veicular. Já pelo método Tier 2, as simulações realizadas apresentam como melhor alternativa o “Cenário 2B” - substituição de combustível gasool por álcool hidratado – resultando em uma redução de emissões 134.028 tCO<sub>2</sub>, seguida pela “Cenário 1B” - substituição de combustível gasool por gás natural considerando veículos providos de tecnologia avançada (kit de conversão para GNV) – indicando abatimento equivalente a 33.693 tCO<sub>2</sub>, em 10 anos. Cabe ressaltar que a simulação para “Cenário 1C” - substituição de combustível gasool por gás natural considerando veículos sem tecnologia avançada – apresentou balanço negativo, ou seja, acréscimo de emissões na ordem de 96.063 tCO<sub>2</sub> em 10 anos. Embora se saiba que os cálculos realizados por este método (Tier 2 - *bottom-up*) incluam relativa imprecisão, o resultado apresentado sinaliza uma forte preocupação quanto a necessidade de se adotar maior cuidado na tecnologia empregada nas conversões de motores a gasool para GNV, a fim de evitar o aumento de emissões de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, uma piora das condições ambientais.

Portanto, com exceção apenas dessa última situação, as demais simulações indicaram em seus respectivos balanços redução de emissões de CO<sub>2</sub>, confirmando-se a viabilidade de realização de atividades de projeto para os combustíveis alternativos selecionados, nos moldes estabelecidos pelo MDL. A Tabela 22 indica os resultados estimados para cada um dos cenários selecionados.

Tabela 22 – Análise comparativa dos balanços de emissões de CO<sub>2</sub> para uma atividade de projeto com duração de 10 anos

<b>Cenários Selecionados</b>	<b>Tier 1</b> (tCO <sub>2</sub> )	<b>Tier 2</b> (tCO <sub>2</sub> )	<b>Obs.</b>
Cenário 1 A - Conversão GNV	23.090		
Cenário 1 B - Conversão GNV <u>com</u> tecnologia avançada		33.693	
Cenário 1 C - Conversão GNV <u>sem</u> tecnologia avançada		(96.063)	Balanco negativo
Cenário 2 A - Conversão AH	153.927		
Cenário 2 B - Conversão AH		134.028	

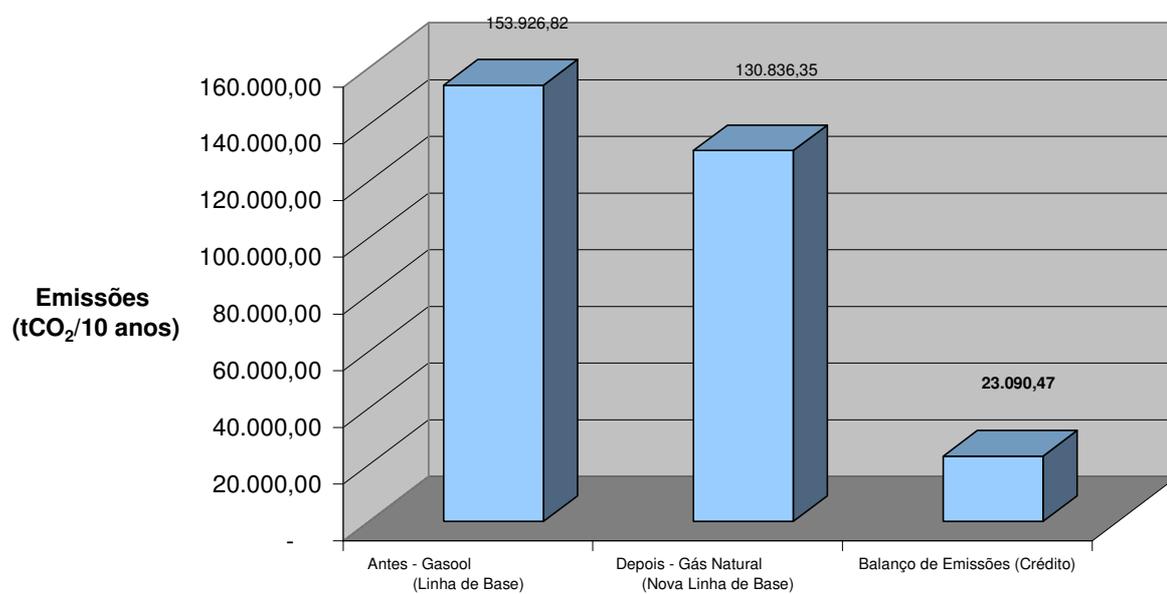


Figura 12 - Cenário 1-A – Método Tier 1  
Substituição de combustível gasool por gás natural veicular  
Emissões de CO<sub>2</sub> Projetadas para 10 Anos

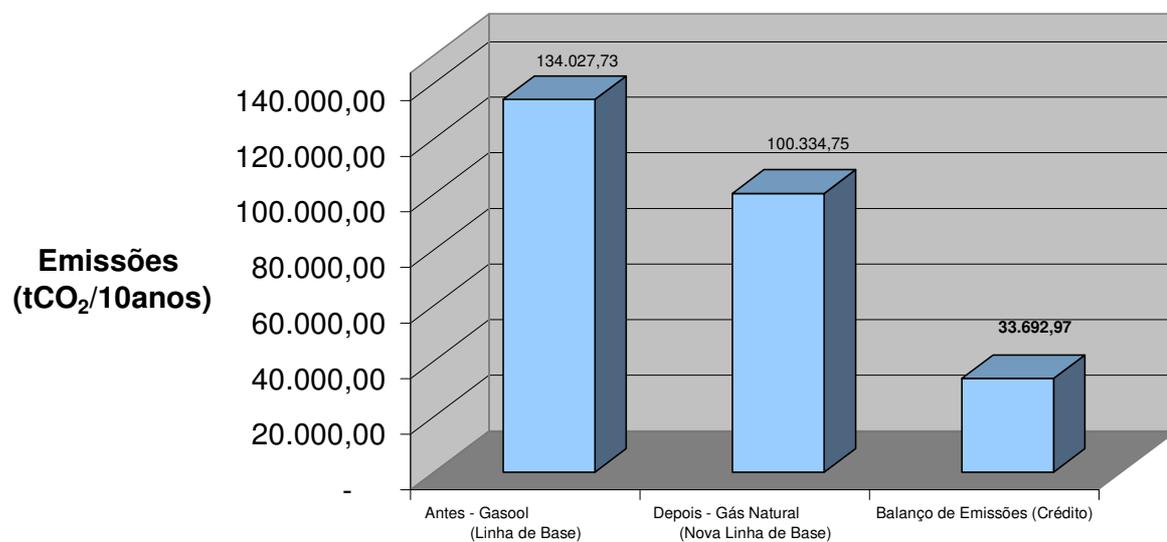


Figura 13 - Cenário 1-B – Método Tier 2  
Emissões de CO<sub>2</sub> Projetadas para 10 Anos  
Veículos Com Tecnologia Avançada

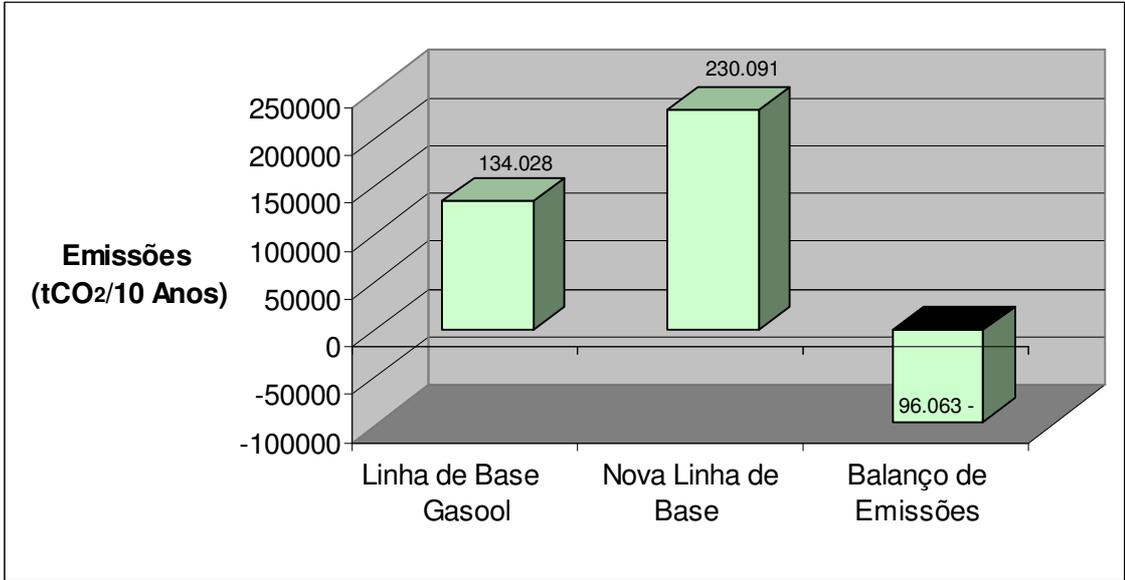


Figura 14 - Cenário 1-C – Método Tier 2  
Emissões de CO<sub>2</sub> Projetadas para 10 Anos  
Veículos Sem Tecnologia Avançada

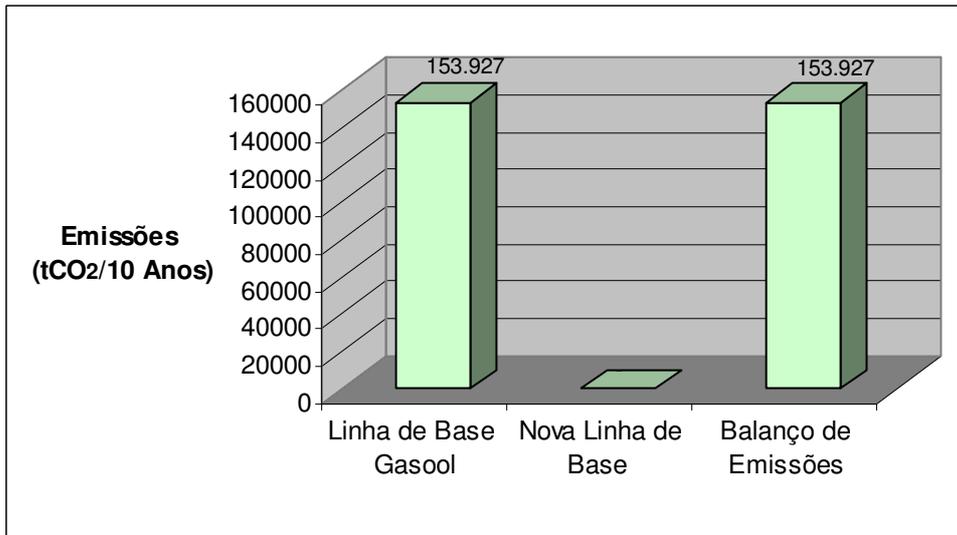


Figura 15 - Cenário 2A – Método Tier 1  
Substituição de combustível gasool por álcool hidratado (AH)  
Emissões de CO<sub>2</sub>

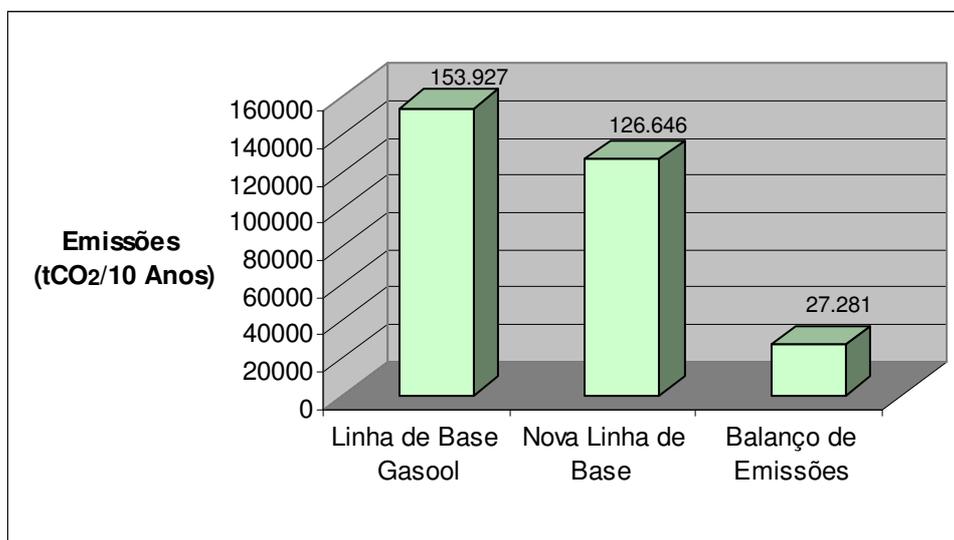


Figura 16 - Cenário 2A – Método Tier 1  
 Emissões de CO<sub>2</sub> Considerando Abatimento da Parcela de Origem Renovável\*  
 Substituição de combustível gasool por álcool hidratado (AH)  
 \* Registro conforme recomendação do IPCC.

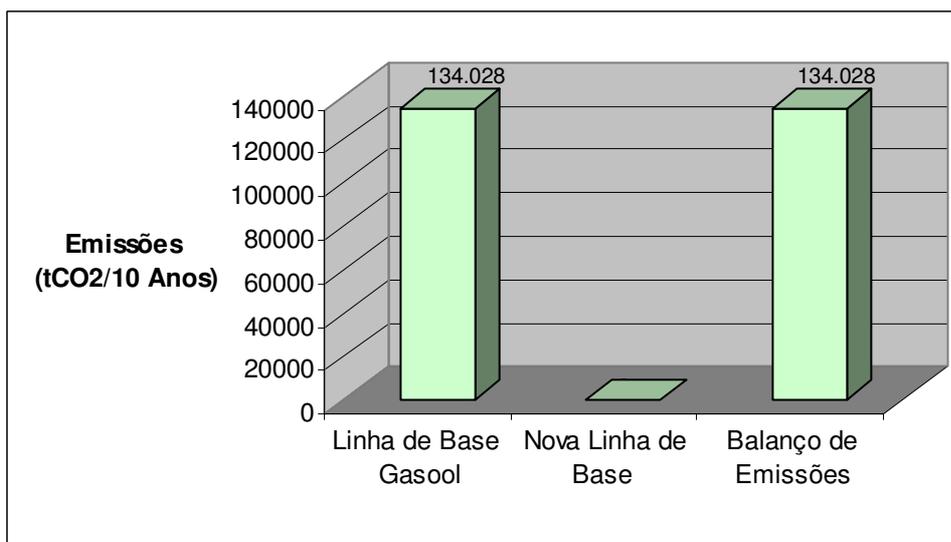


Figura 17 - Cenário 2B – Método Tier 2  
 Substituição de combustível gasool por álcool hidratado (AH).  
 Emissões de CO<sub>2</sub>

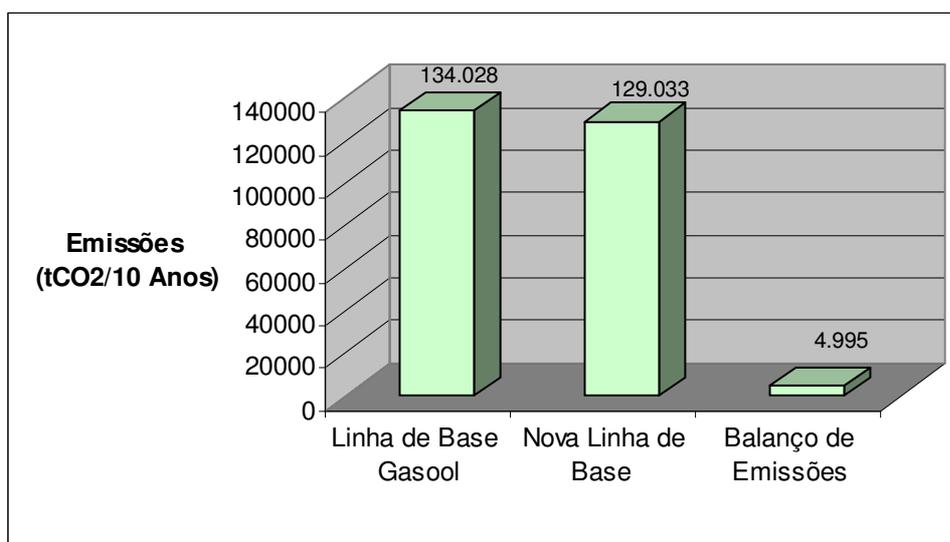


Figura 18 - Cenário 2B – Método Tier 2  
Emissões de CO<sub>2</sub> Considerando Abatimento da Parcela de Origem Renovável\*  
Substituição de combustível gasool por álcool hidratado (AH)  
\* Registro conforme recomendação do IPCC.

Com relação a estimativa de resultado econômico adicional provável, associado à atividade de projeto, observa-se uma relação direta: quanto maior a redução de emissões, maior será o ganho econômico uma vez que este mecanismo de comércio de emissões incentiva o melhor desempenho ambiental. A Tabela 23 apresenta um resumo dos valores resultantes para cada um dos cenários selecionados, considerando-se valores de comercialização atuais.

Tabela 23 - Oportunidades de ganho econômico adicional associadas à atividade de projeto realizada nos moldes do MDL

<b>Cenários Selecionados</b>	<b>Tier 1 (€)*</b>	<b>Tier 2 (€)*</b>	<b>Obs.</b>
Cenário 1A - Conversão GNV	70.940,49		VPL**(Tx Desc. 10%; 5,00 € / tCO <sub>2</sub> )
Cenário 1 B - Conversão GNV <u>com</u> tecnologia avançada		103.514,37	VPL**(Tx Desc. 10%; 5,00 € / tCO <sub>2</sub> )
Cenário 1 C - Conversão GNV <u>sem</u> tecnologia avançada		0,00	Não há ganho adicional devido ao acréscimo de emissões de GEE em relação a linha de base.
Cenário 2 A - Conversão AH	472.906,85		VPL**(Tx Desc. 10%; 5,00 € / tCO <sub>2</sub> )
Cenário 2 B - Conversão AH		411.771,19	VPL**(Tx Desc. 10%; 5,00 € / tCO <sub>2</sub> )

\* a) Considerado valor atual de mercado de 5,00 € / tCO<sub>2</sub> (Point Carbon Consulting, 2003).

b) Valores indicados não consideram custos de elaboração, monitoramento e auditoria do Projeto Design Document (PDD), Fundo de auxílio a países pobres da ONU, Registro junto a ONU, gastos referentes à análise de projetos na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), entre outros.

\*\* VPL: valor presente líquido.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Ao final deste estudo, é importante ressaltar a necessidade de urgência para adoção de medidas mitigadoras globais em relação à estabilização da concentração dos gases formadores do efeito estufa. As ações internacionais em curso deixam clara a importância da humanidade adotar medidas rápidas visando, pelo menos, reduzir a tendência atual de elevação progressiva da concentração de GEE na atmosfera.

Independentemente da aprovação do Protocolo de Kyoto, diversas ações previstas naquele documento já se encontram em andamento, demonstrando que o esforço desenvolvido em negociações internacionais realizadas na última década não foi perdido. Adicionalmente, cabe ressaltar a posição da União Européia e de diversos estados americanos que já elaboram legislações específicas sobre o controle de emissões de gases formadores do efeito estufa, adotando conceitos convergentes quanto ao inventário de emissões, estimativa de limites de emissões e mecanismos de fomento ao comércio de emissões.

No que tange ao atual estágio tecnológico dos meios de transporte, especialmente, veículos, também parece clara a necessidade de evoluir rapidamente no sentido de produzir automóveis que produzam menor quantidade de emissões de GEE, para uma mesma distância percorrida. Neste contexto, o gás natural assume um papel crucial de elemento de transição entre o atual estágio de emissões e o futuro tecnológico baseado em tecnologias de menor impacto ambiental como o caso da eletricidade e células de combustível (hidrogênio).

## **6 CONCLUSÕES**

Considerando-se os cenários selecionados, observa-se que as duas alternativas de combustível propostas têm condições de gerar uma redução de emissões de gases formadores do efeito estufa e, conseqüentemente, créditos de CO<sub>2</sub>. Excetua-se desta condição somente a alternativa de conversão para GNV empregando veículos sem tecnologia avançada (método Tier 2), uma vez que produziu balanço de emissões de GEE negativo.

Em princípio, os valores resultantes das estimativas realizadas pelo Método Tier 1, que considera a quantidade de combustível consumido, possuem menor dispersão, observando-se variações entre os métodos na faixa de 14,8% quando comparadas às estimativas para determinação da linha de base (gasool). Isto confirma a previsão do IPCC, citada anteriormente, que recomenda como melhor cálculo àquele que considera a quantidade de combustível queimado, seu teor carbônico e suas emissões correspondentes.

Já no caso do cenário 1 – conversão para gás natural considerando veículos com tecnologia avançada – as estimativas Tier 1 e Tier 2 apresentam diferença superior a 30%, sinalizando uma imprecisão significativa. Da mesma forma, a diferença entre as estimativas realizadas pelo método Tier 2 para GNV é apreciável, considerando-se veículos com e sem tecnologia avançada, e sinaliza para a necessidade de revisão da base de dados e dos fatores de emissão empregados neste método.

Os resultados obtidos demonstram a importância e o cuidado que deve ser adotado nos procedimentos de conversão do combustível gasool para GNV em veículos sem tecnologia avançada, uma vez que esta ação pode gerar resultados ambientais adversos. A regulamentação detalhada de métodos e critérios de conversão de combustíveis certamente restringiria problemas desta natureza. Porém, atualmente, observa-se que o setor de gás natural brasileiro passa por uma fase de transição havendo indefinições políticas e regulatórias significativas que impactam nas áreas de transporte, produção de veículos e conversão de motores, entre outras associadas, interferindo nas decisões e investimentos destes segmentos.

## **7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS**

A contribuição das atividades de transporte para o aquecimento global é um tema bastante complexo considerando-se a participação expressiva e crescente em importância deste segmento no cômputo geral de emissões de GEE. Acrescente-se ainda o atual estágio tecnológico dos veículos e o impacto dos seus respectivos níveis de emissões de gases poluentes no trânsito urbano. Devido às características multidisciplinares, próprias das questões ambientais, há um vasto leque de oportunidades para o aprofundamento de estudos e trabalhos especializados nesta área.

Entre esses, é possível destacar a necessidade para determinação de fatores de emissão de GEE capazes de refletir a realidade local, investigações mais detalhadas sobre o ciclo de vida dos combustíveis e suas respectivas emissões, estudos envolvendo o aproveitamento de combustíveis alternativos em motores ciclo Diesel que representam uma grande parcela de emissões dentro da frota veicular, entre tantos outros aspectos relevantes.

Por fim, observa-se uma necessidade real de incentivar novas pesquisas para determinação de fatores de emissões de GEE locais em veículos convertidos para GNV e álcool hidratado, incluindo a coleta de dados de campo para indicar dados mais precisos sobre as características e condições reais de uso e atividade da frota veicular do Estado do Rio Grande do Sul.

## REFERÊNCIAS

- BARNOLA, A. O. F. **Mécanismes de Convergence dès Intérêts dasn lês Négociations Internationales sur l'Environnement:**une comparaison entre négociations sur la protections dès forêts et celles sur lê climat. 2001. Dissertation (Docteur) – l'E.H.E.S.S., Paris, 2001.
- BARRET, S.; STAVINS R. **Increasing Participation and Compliance in International Climate Change Agreements.** John F. Kennedy Scholl of Government. Cambridge: Harvard University, 2002.
- CALIFORNIA ENERGY COMISSION. **Guidance to the California Climate Action Registry:** general reporting protocol. California: Transportation Fuels Committee. 2002.
- DALÁVIA, D; MELLO, C.C. de. **Gasolinas Petrobrás.** Rio de Janeiro: Petrobrás, Laboratorio de Motores. 2003. Development and the International Energy Agency. United Kingdom, 1996. v.1,2, 3.
- ECONOMIA & Energia. *Boletins n.25*, Mar./Abr. 2000, n..29, Nov./Dez./2001. Disponível em: <<http://www.ecen.com.br/htm>>. Acesso em: Agosto de 2003.
- FAIZ, Asif; WEAVER, Christopher S. WALSH, Michael P. GAUTAM, Surhid P. Air Pollution from Motor Vehicles. **Standards and Technologies for Controlling Emissions.** Washington:The World Bank , 1996.
- FRANKEL, Jeffrey A. - Achieving Environmental Goals at Minimum Economic Cost. Edison Electric Institute Advisory Panel on Fuel Diversity. In: EEI CHIEF EXECUTIVES. CONFERENCE, Palm Springs, Jan. 13, 2000.**Anais...**Palm Springs: EEIAP, 2000.
- GASTAL, A; Lima, I.M.O. **Meio Ambiente e Transporte Urbano:** análise bibliográfica e propostas sob o enfoque das políticas públicas. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.. 2002.
- GUIMARÃES, Helvécio Borges. O Jogo Russo no Protocolo de Quioto. **Econergy Brasil**, 2003. Disponível em: <<http://www.econergy.com.br/htm>>. Acesso em: Dezembro de 2003.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE..London: United Nations Enviroment Program, the Organization for Economic Co-operation.[1997].
- LEGGERINI, Marisa Costa. **Gás Natural Veicular Como Combustível da Matriz Energética do Setor de Transportes em Porto Alegre e a Qualidade do Ar.** 2003.

Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2003.

LOPES, I.V. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**: guia de orientação. . Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas. 2002.

MACEDO, I.C. **O Ciclo da Cana-de-Açúcar e Reduções Adicionais nas Emissões de CO<sub>2</sub>**. [S.I.]: Centro de Tecnologia Copersucar, 2000.

MACKENZIE, James J. Two Transport Visions, 1997, [S.I.]. **Annals...** [S.I.]: AAPSS, 553. Sept. 1997.

MACKENZIE, James J.; WALSH, M.P. **Driving Forces**: motor vehicle trends and their implications for global warming, energy strategies and transportation planning. [S.I.]: World Resources Institute. 1990.

MAHALMAN, J.D. Science and nonscience concerning human-caused global warming. In: GÓMEZ-ECHEVERRI, L. (ed.). **Climate Change and Development**. New Haven: Yale School of Forestry; Environmental Studies, 2000.

MATTOS, Laura Bedeschi Rego de. A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases de Efeito Estufa: caso do município do Rio de Janeiro. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro Rio de Janeiro. 2001.

MEADOWS, et.al. **The Limits to Growth**. New York: Universe, 1972.

MICHAELS, Patrick J. On the Kyoto Protocol before the Committee on Small Business United States House of Representatives : Kyoto protocol: "*A useless appendage to an irrelevant treaty*". 29 de Julho de 1998.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional**. 1999. Disponível em : <http://www.mme.gov.br/htm>. >. Acesso em: Agosto de 2003.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Secretaria de Políticas e Programas de Ciência e Tecnologia. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases do Efeito Estufa. **Relatórios de Referência**: emissão de gases de efeito estufa nos processos industriais e por uso de solventes. Brasília: Departamento de Programas Temáticos. Coordenação Geral de Mudanças Globais. 2002. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/htm>>. Acesso em: Setembro de 2003.

PELLIZA, Giovani. **Análise de Veículos Convertidos para o Uso do Combustível Gás Natural**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Depto. Eng. Mecânica – Escola de Engenharia - UFRGS, 2003.

PEREIRA, A.S. **Do Fundo ao Mecanismo**: gênese, características e perspectivas para o mecanismo do desenvolvimento limpo, ao encontro ou de encontro à equidade? 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2002.

RAMAKRISHNA, K. The UNFCCC: history and evolution of the climate change negotiations. In: GÓMEZ-ECHEVERRI, L. (ed.). **Climate Change and Development**. New Haven: Yale School of forestry; environmental Studies, 2000.

REI, F. Implementação da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima. In: CORDANI, U.G.; MARCPVITCH, J.; SALATI, E. (orgs.) **Rio 92 Cinco Anos Depois**. São Paulo: Alphagraphics, 1997.

SANTOS, Edmilson Moutinho dos. **Gás natural**: estratégias para uma nova energia no Brasil. São Paulo: Annablume, Fapesp, Petrobrás. 2002.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Estado do Meio Ambiente. Alvares Júnior, O.M. LINKE, R.R.A. **Metodologia Simplificada de Cálculo das Emissões de Gases do Efeito Estufa de Frotas de Veículos no Brasil**. 2003. Disponível em: [http://www.ambiente.sp.gov.br/proclima/inventario\\_efeitoestufa.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/proclima/inventario_efeitoestufa.pdf). Acesso em: Agosto de 2003.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Resolução SMA nº. 31/2000**: plano de controle da poluição por veículos em uso - PCPV para o Estado de São Paulo. São Paulo: SMA, 2000.

TAN, Raymond R. MS<sup>a</sup>; CULABA, Alvin B. RME, PhD<sup>b</sup> **Life-Cycle Assessment of Conventional and Alternative Fuels for Road Vehicles**. Manila: De La Salle University. <sup>a</sup>Chemical Engineering Department, <sup>b</sup>Mechanical Engineering Department.[1997].

THE ENERGY FOUNDATION. Bellagio Memorandum on Motor Vehicle Policy: principles for vehicles and fuels in response to global environmental and health imperatives. **Consensus Document**. Bellagio, Italy. 2001. Disponível em: <<http://www.ef.org/> htm>. Acesso em: Setembro de 2003.

UNEP;UNFCCC. Climate Change Information Kit. . Geneva, Switzerland International Environment House. 2001. Disponível em: <<http://www.unep.ch/htm>>. Acesso em: Agosto de 2003.

VILANOVA, L.C. **Contribuições das Emissões Veiculares na Qualidade do Ar Atmosférico da Região Metropolitana de Porto Alegre**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Depto. Eng. Mecânica – Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**Mestrado Profissionalizante em Engenharia**

**Estudo das Emissões de Gases Formadores do Efeito Estufa e  
Balanço Resultante da Conversão de Motores à Gasolina, de uma  
Frota de Veículos Leves, para Gás Natural e Álcool Hidratado.**

**Felipe Ostermayer**

**Porto Alegre (RS)**

**2004**

O85e Ostermayer, Felipe

Estudo das emissões de gases formadores do efeito estufa e balanço resultante da conversão de motores à gasolina, de uma frota de veículos leves, para gás natural e álcool hidratado / Felipe Ostermayer ; orientador, Nestor Cezar Heck. -- Porto Alegre, 2004.

Trabalho de Conclusão. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia.

1. Engenharia ambiental. 2. Meio ambiente – Aspectos econômicos. 3. Efeito estufa I. Heck, Nestor Cezar, orient. II. Título.

CDU 504.03(043)