

O MARCO REGULATÓRIO DO PROTOCOLO DE QUIOTO E O TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS

João Alencar Oliveira Júnior

Suzana Kahn Ribeiro

Márcio Peixoto de Sequeira Santos

Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes – PETRAN

Universidade Federal do Ceará – UFC

Programa de Engenharia de Transportes – PET

Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

RESUMO

Este trabalho objetivou analisar os impactos da troca do diesel pelo gás natural veicular – GNV na frota de ônibus do Sistema Integrado de Transportes do município de Fortaleza – SIT-FOR, estimando as emissões dos gases de efeito local – GEL's e de efeito estufa – GEE's para ambos os combustíveis, bem como os valorando economicamente. Utilizou-se o conceito de Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico – $VERA_{AR}$, desagregado em $VERA_{AR\ LOCAL}$ e $VERA_{AR\ ESTUFA}$. Dada a entrada em vigência do Protocolo de Quioto no plano internacional foram feitas às estimativas dos GEL's e dos GEE's de acordo com a metodologia recomendada pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas e de acordo com o conceito do CO_2 EQUIVALENTE, usado como moeda ambiental nas negociações internacionais de carbono sob a égide do protocolo, buscando mensurar o quanto representa a poluição atmosférica do sistema ônibus na cidade de Fortaleza.

ABSTRACT

This paper purpose was the analysis of the environmental impacts caused by the shift from diesel to compressed natural gas (CNG) engines on buses operating in Fortaleza's Integrated Transportation System (SIT-FOR). The amount of greenhouse and local effect gases were estimated for both combustibles and their economical values were calculated. The concept of Economical Value of the Environmental Resource - Atmospheric Air ($EVER_{AIR}$) was used, separating it in a part of local effect gases ($EVER_{LOCAL\ AIR}$) and another of greenhouse effect gases ($EVER_{GHG}$) or greenhouse gases – GHG. Considering the Kyoto Protocol been used around the World, the estimation of pollutant gases was done using the Global Warming Potential (GWP) that is adopted worldwide to calculate the CO_2 equivalent. This parameter, recommended by The Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, establishes a comparison between the potential effect of gases on the planet warming and the amount of CO_2 , and is used as currency on the international carbon market. This market was established under the Kyoto Protocol aegis and its rules were followed in order to estimate how much the air pollution produced by Fortaleza's buses costs.

1. INTRODUÇÃO

A mudança no clima é uma força motriz portadora de futuro da humanidade, provocada pelo homem e que ameaça sua existência. Existindo uma relação de causalidade entre as forças ambientais e econômicas, que alteram às condições climáticas, gerando enormes impactos sócio-ambientais. Desta forma, a prática predatória no uso dos recursos naturais afetou o equilíbrio da natureza, onde as emissões antropogênicas dos gases de efeito estufa – GEE's aumentaram enormemente, nas últimas décadas, bem como suas concentrações na atmosfera, produzindo o aquecimento global, o denominado efeito estufa.

A diminuição dos impactos na atmosfera requereria a redução ou mitigação das emissões dos GEE's, provenientes das atividades humanas, e para tanto seria necessário rever a forma de produção de bens e serviços (*business as usual* – *BAU*), na busca do desenvolvimento auto-sustentado. Entretanto, a minimização das emissões implicaria em novas tecnologias (como o uso de energéticos menos poluentes como o gás natural veicular – GNV) ou menor patamar de produção, o que poderia comprometer o crescimento econômico de alguns países. O Protocolo de Quioto traz metas e compromissos na redução (em percentuais diferenciados) das emissões dos GEE's, para alguns dos países signatários, onde no art. 1º, § 1º, estabelece o

objetivo de “*reduzir suas emissões totais desses gases em pelo menos 5 por cento abaixo dos níveis de 1990 no período de compromisso de 2008 a 2012*” (BRASIL, 1998).

Imbuído desse propósito, procedeu-se à estimativa da contribuição da frota de ônibus a diesel do SIT-FOR, e a possível redução da poluição de efeito estufa, caso 100% da frota fosse movida a GNV. Em paralelo, quantificaram-se os gases de efeito local – GEL's, e a valoração econômica da poluição do diesel, e daquela relativa à redução da poluição do ar proporcionada pelo uso do GNV.

2. A CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MUDANÇA DO CLIMA E O PROTOCOLO DE QUIOTO

Tanto a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (*The United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*), quanto o Protocolo de Quioto, são fundamentais para a obtenção das metas mundiais de redução dos GEE's. O Brasil ratificou tais tratados, respectivamente, em 28/02/1994 e 23/07/2002, o que obriga ao país, o uso de tecnologias amigas do clima, e a busca do desenvolvimento sustentável, mesmo sem que esteja obrigado a reduzir seu patamar de emissão dos GEE's. Uma vez que, na opinião de Rezek (2002), por serem tratados internacionais têm “*a estatura de uma lei nacional*” importando “*que se retenha desde logo a noção de que o tratado, embora produzido em foro diverso das fontes legislativas domésticas, não se distingue, enquanto norma jurídica, dos diplomas legais que destas promanam*”, ou seja, ambos são leis ordinárias federais a serem observadas por todos os entes federados (União, estados e municípios).

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) define em seu art. 2º, que os objetivos perseguidos pela convenção visam “*a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático*”, bem como, tendo por princípio, que “*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 nas diferenciadas e respectivas capacidades*” (art. 3º, § 1º). A UNFCCC delineou mecanismos financeiros que possibilitassem a implementação de medidas eficazes na redução das emissões, como o art.11, que concebeu “*um mecanismo para a provisão de recursos financeiros a título de doação ou em base concessional, inclusive para fins de transferência de tecnologia. Esse mecanismo deve funcionar sob a orientação da Conferência das Partes e prestar contas à mesma, a qual deve decidir sobre suas políticas, prioridades programáticas e critérios de aceitabilidade relativos a esta Convenção. Seu funcionamento deve ser confiado a uma ou mais entidades internacionais existentes*” (Brasil, 1994). Pode-se afirmar, que o art.11 serviu de lastro jurídico aos mecanismos detalhados no Protocolo de Quioto.

Halsn+s *et al.* (1999) consideram, que a redução significativa dos gases de efeito estufa somente irá acontecer, se um grande número de países agir domesticamente, ou seja, em nível nacional, porém, articulados numa cooperação internacional com os demais países. Alerta que muitas nações estão somente preocupados com suas necessidades sociais e de desenvolvimento locais, sendo as políticas voltadas a estes fins, sem maiores preocupações com os impactos nas mudanças do clima.

No sentido de se avançar na implementação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, vários líderes governamentais encontraram-se em Quioto, no Japão,

“para discutir um plano de redução dos GEE provenientes de fontes antropogênicas, particularmente as emissões de carbono devido ao uso dos combustíveis fósseis. Embora, as expectativas e promessas do Protocolo de Quioto variem enormemente entre os países, as Partes reconheceram o papel chave que os transportes teriam a desempenhar no crescimento das emissões dos combustíveis fósseis” (IEA, 2000). Embora, o Protocolo de Quioto tenha sido assinado em 11/12/1997, somente entrou em vigor em 16/02/2005, após 90 dias da ratificação da Federação Russa, possibilitando atender ao seu art. 25, § 1º, que exige que pelo menos 55 Partes (países membros) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, listadas no Anexo B (países desenvolvidos ou em transição) devem responder por pelo menos 55% das emissões de CO₂EQ (ano-base de 1990), e que tenham depositado os instrumentos de ratificação ao Protocolo (NU, 1997).

Quanto ao disposto no art. 11, da Convenção-Quadro, este evoluiu no âmbito do Protocolo de Quioto, que introduziu no art. 17, a estrutura inicial do mercado internacional de emissões – MIE (*Emissions Trading – ET*), no art. 6º, a implementação conjunta – IC (*Joint Implementation – JI*) e, no art. 12, o mecanismo de desenvolvimento limpo – MDL (*Clean Development Mechanism – CDM*), com o objetivo de fomentar a realização de projetos de redução das emissões de GEE’s entre os países desenvolvidos, através da IC e do MIE, bem como, destes com os países em desenvolvimento, mediante o MDL (Halsn+s *et al.*, 1999). Entretanto, estes não podem ser usados indistintamente por qualquer país, pois existem já delineadas algumas regras no próprio documento e, segundo Mullins e Baron (1997) e Mullins (1999) *apud* IEA (2000a), aplicam-se da seguinte forma: a) **Mercado Internacional de Emissões – MIE:** são permissões de unidades de emissão transferidas ou adquiridas pelos países do Anexo B; b) **Implementação Conjunta – IC:** são projetos desenvolvidos no âmbito dos países do Anexo B, onde os créditos de emissões gerados nos projetos podem ser deduzidos do país onde o projeto está sendo executado e transferido o crédito ao país que está investindo no projeto, onde as emissões globais do Anexo B não são afetadas pela transação. Nesse mecanismo, além dos países do Anexo B, suas empresas privadas também podem negociar tal transferência de tecnologia e dos créditos de emissão dos GEE’s; e c) **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL:** guarda semelhança com o mecanismo da implementação conjunta, porém, o país sede do projeto deve ser um país não-membro do Anexo B (não obrigado a reduzir) e os certificados de emissão somente podem ser comercializados a partir da redução dos GEE’s, obtidas pela utilização de tecnologias amigas do clima, tais créditos de emissões podem ser adquiridos pelos países do Anexo B, os quais podem ser utilizados, na redução das suas quantidades de emissões acordadas no Protocolo, pelos países membros do Anexo B. Esse mecanismos também faculta a participação das empresas públicas e privadas.

3. OS POLUENTES ATMOSFÉRICOS DE EFEITO LOCAL E ESTUFA

A metodologia proposta pelo IPCC (*The Intergovernmental Panel on Climate Change*) na publicação intitulada “*The Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook*”, deve ser usada para o cálculo das emissões provenientes da combustão dos combustíveis fósseis. A metodologia está adequada para realizar as estimativas aproximadas dos poluentes das fontes móveis, tais como: CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO e NMVOC(HC) e do SO₂, usando-se estatísticas do setor de energia. A metodologia poderia ser utilizada nos casos onde não existam informações detalhadas por tipo de combustível, tecnologia e condições de operação. Na realidade, sabe-se que as emissões variam em função do tipo de combustível, da tecnologia de combustão, das condições de operação, do controle tecnológico, da manutenção

e idade do equipamento. Entretanto, desde que seja improvável, que muitos países disponham destes dados em tal nível de desagregação, a metodologia IPCC (1996) desconsidera estes refinamentos (IPCC, 1996).

3.1. Os Fatores de Emissão dos Gases de Efeito Estufa e Local

Os fatores de emissões dos demais poluentes não-CO₂ e GEL's, aprovados pelo IPCC, foram obtidos com base em outros estudos internacionais. A metodologia IPCC (1996) agregou os combustíveis pelos seguintes tipos de grupos: carvão; gás natural; petróleo – gasolina e diesel para transportes e outros derivados de petróleo e, biomassa – madeira, álcool, outras biomassas e resíduos orgânicos (IPCC, 1996). Portanto, na Tabela 1, observam-se os índices de emissão dos gases de efeito estufa – GEE's e locais – GEL's, sugeridos pelo IPCC, bem como de outras fontes, em se tratando do óxido de enxofre (SO_x) e o material particulado (MP), para o diesel e o GNV.

Tabela 1: Fatores de Emissão dos Gases de Efeitos Estufa – GEE's e Locais – GEL's

Efeitos (1)	Poluentes (2)	DIESEL (g/MJ) (3)	GNV (g/MJ) (4)	Variação (%) (5)
GEE's	CO ₂ *	74,0667	56,1000	-24,26
	CH ₄ *	0,0050	0,0500	900,00
	N ₂ O*	0,0006	0,0001	-83,33
GEL's	NMVOC (HC)*	0,2000	0,0050	-97,50
	CO*	1,0000	0,4000	-60,00
	NO _x *	0,8000	0,6000	-25,00
	SO _x **	0,31389	0,0000	-100,00
	MP**	0,02778	0,00278	-89,98

Fonte: Adaptado de *IPCC (1996) e de **Ribeiro (2001)

Os índices expressos em gramas por Megajoule (g/MJ) necessitam ser convertidos em toneladas por ano. Portanto, na abordagem da estimativa do CO₂ e dos gases não-CO₂ se dá, na verdade, a partir da adaptação da metodologia do IPCC (1996), composta por: a) estimativa do consumo por tipo de combustível utilizado pela frota de ônibus a diesel, a partir do rendimento médio ponderado da frota de 2,304 l/km e o equivalente em GNV, pelo fator de equivalência de 0,8 l/m³, sugerido em Ribeiro (2001); b) conversão destes consumos em energia produzida, por cada tipo de energético expresso em megajoules (MJ); c) adoção do fator de emissão do carbono por tipo de combustível e a sua transformação em emissão de CO₂ (a partir do seu peso molecular pelo fator de conversão igual a 44/12, de acordo com o IPCC, 1996); d) adoção dos fatores ou índices de emissão dos poluentes em concordância com a metodologia IPCC (1996), e dispostos na Tabela 1; e) no cálculo da energia produzida foi feito o ajuste correspondente aos fatores do carbono não oxidado e do uso do poder calorífico inferior dos combustíveis; f) cálculo das quantidades em gramas das emissões do CO₂ e daquelas não-CO₂, por tipo de combustível (diesel e GNV), e convertidas em t/ano.

Na Tabela 1, percebe-se a redução das emissões dos poluentes pela troca do diesel pelo GNV, excetuando-se o metano (CH₄), embora o GNV seja 89,24% composto por metano.

3.2 O Potencial de Aquecimento Global – PAG dos GEE's

Os GEE's têm a propriedade de absorver a radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra, pela atmosfera e nuvens que contém esses gases, servindo como armadilhas que prende o calor no sistema estratosférico do planeta, isto é chamado de efeito estufa natural. O aumento da sua concentração induzirá a redução da emissão de radiação infravermelha para o espaço nas altas altitudes à baixa temperatura. Por isso, a força radioativa em desequilíbrio somente poderá ser compensada pelo aumento da temperatura na superfície troposférica do sistema, isto é chamado de efeito estufa intensificado. Os GEE's são gases de origem natural e antropogênica, formados pelo vapor d'água (H_2O), o ozônio (O_3), o dióxido de carbono (CO_2), o óxido nitroso (N_2O) e o metano (CH_4), sendo os três últimos abrangidos pelo Protocolo de Quioto (IPCC, 2001).

No sentido de padronizar o valor da contribuição de cada um destes no efeito estufa, foi criado um índice chamado Potencial de Aquecimento Global – PAG (*Global Warming Potential – GWP*) pelo IPCC. Esse índice representa o potencial que um quilograma (kg) de gás estufa possui para reter a radiação infravermelha (direta ou indiretamente), quando se compara com um quilograma (kg) do dióxido de carbono (CO_2) (Ribeiro *et al.*, 2000). O PAG é calculado em diferentes períodos de tempo, demonstrando o efeito dos GEE's na atmosfera, e para fins de análise, adota-se o valor referente ao período de 100 anos. Quando se multiplica o índice PAG pelas quantidades em gramas (g) ou toneladas (t) dos gases CO_2 (dióxido de carbono) de peso igual a 1, o CH_4 (metano) com peso igual a 23 e o N_2O (óxido nitroso) com peso igual a 296, se obtém o valor denominado de CO_{2EQ} (CO_2 equivalente), que será o parâmetro utilizado na compra e venda do “direito de poluir” (IPCC, 2001).

4. O SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTES DE FORTALEZA – SIT-FOR

O SIT-FOR foi implantado entre 1992 a 1995, e totaliza sete terminais. Em 2002, o SIT-FOR possuía uma frota operante de 1.720 ônibus a diesel, com idade média de 4,37 anos, e distribuídos em 224 linhas, que produziram um total de 131,59 Milhões de quilômetros rodados, e 282,18 Milhões de passageiros transportados (23.515.308 passageiros/mês ou 783.844 passageiros/dia), o que resultou num IPK_{REAL} igual a 2,14 pass/Km (PMF, 2002). Quanto à idade média, os veículos pesados apresentaram as maiores idades, mas se destaca, também, que os veículos do tipo microônibus e semipesado possuem as menores idades, e juntos detém 84,7% em 2002, o que beneficiou o cálculo da idade média do SIT-FOR.

Em função da quilometragem rodada pela frota de ônibus a diesel, e a hipotética substituição por GNV, foram estimadas as emissões em t/ano por tipo de poluente, resultantes da queima dos combustíveis e da produção de energia expressa em MJ. Portanto, a partir dos índices de emissão e da energia produzida pela queima do diesel e do GNV foram estimadas, nas Tabelas 2 e 3, as reduções dos poluentes atmosféricos emitidos pela frota de ônibus do SIT-FOR, expressos em t/ano, onde os sinais positivos significam reduções e, os negativos, aumento do poluente pela troca do diesel pelo GNV. Os ganhos ambientais da substituição dos energéticos na frota de ônibus de Fortaleza e a sua valoração econômica estão nas Tabelas 4, 5 e 6.

Os valores absolutos dos GEL's da Tabela 2, expressos em percentuais, apresentam as seguintes reduções: a) de 100%, do óxido de enxofre (SO_x), uma vez que o GNV não o emite; b) de 97,16%, dos compostos orgânicos voláteis não metano (NMVOC) ou Hidrocarbonetos (HC); c) de 88,65%, do material particulado (MP), uma diminuição considerável; d) de 54,62%, do monóxido de carbono (CO) e e) de 14,91%, do óxido de nitrogênio (NO_x),

apresentando o pior desempenho. Tais abatimentos nos poluentes atmosféricos implicariam numa melhor qualidade de vida urbana, para a população residente e flutuante (os turistas), na medida em que Fortaleza é um destino turístico nacional e internacional. Representa, ainda, ganho do ponto de vista da saúde pública da população em geral e, em particular, daquelas parcelas mais vulneráveis a tais impactos da poluição do ar atmosférico nas cidades – os idosos e as crianças.

Tabela 2: Variação (\pm) nas Quantidades de Gases de Efeito Local – GEL's na Troca do Diesel pelo GNV (t/ano)

Diesel menos GNV	Variação (\pm) nas Quantidades de Gases de Efeito Local – GEL's (t/ano)				
ANO	NO _x	NMVOC (HC)	CO	MP	SO _x
1991	165,2597	269,2030	756,6494	34,1151	434,8322
2002	258,8591	421,6736	1.185,1985	53,4371	681,1114
1991 a 2002	2.701,1466	4.400,0849	12.367,3256	557,6057	7.107,2703
Média Anual	225,0956	366,6737	1.030,6105	46,4671	592,2725

Tabela 3: Variação (\pm) nas Quantidades de Gases de Efeito Estufa – GEE's na Troca do Diesel pelo GNV (t/ano)

Diesel menos GNV	Variação (\pm) nas Quantidades de Gases de Efeito Estufa – GEE's (t/ano)			
ANO	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CO _{2EQ}
1991	-71,6556	0,6740	14.435,89	12.987,33
2002	-112,2397	1,0558	22.612,06	20.343,05
1991 a 2002	-1.171,2000	11,0168	235.952,61	212.275,97
Média Anual	-97,6000	0,9181	19.662,72	17.689,66

Quanto aos GEE's, o metano cresceria 1.034,51% em relação ao diesel, enquanto que ocorreria uma redução: a) de 81,09%, para o N₂O, e de 14,07%, para o CO₂. O fator de emissão do CO₂ tem uma diferença favorável ao GNV de 24,26% (vide Tabela 1, para os demais poluentes), onde tal vantagem seria reduzida devido aos 13,45% a mais de energia produzida pelo GNV, para percorrer a mesma quilometragem. Quanto às emissões do CO_{2EQ} ocorreria uma redução de 12,61% a favor do GNV. A partir das estimativas verificadas para os GEL's, e para o CO_{2EQ}, serão valorados no que se denominou de Valoração Econômica do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico – VERA_{AR}, respectivamente, desagregado em VERA_{AR LOCAL} e VERA_{AR ESTUFA}.

5. O VALOR ECONÔMICO DO RECURSO AMBIENTAL DO AR ATMOSFÉRICO

Massarrat (1997) argumenta que, o custo da externalidade somente passou a ser compreendido e analisado em 1950, por Karl William Kapp, onde esse resumia que, a externalidade poderia ser considerada como *“todas as perdas diretas ou indiretas em que uma terceira parte ou o público em geral eram forçados a suportar como consequência de uma atividade econômica sem controle. Os custos sociais podem ser expressos através dos danos à saúde humana, da destruição ou da redução no valor da propriedade e da exaustão prematura dos recursos naturais”* (Kapp, 1963 *apud* Massarrat, 1997).

Vasconcellos e Lima (1998) consideram que, os transportes produzem externalidades na forma de congestionamento, poluição e acidentes de trânsito. A poluição está relacionada à intensidade do uso dos veículos, que proporcionam tempos adicionais de viagens e queda na velocidade em decorrência dos congestionamentos, traduzindo-se em *“externalidade legítima na medida em que implica em danos à saúde das outras pessoas, sem compensação”*. Advertem que, *“a quantificação do seu impacto é mais difícil, devendo passar pela estimativa dos custos relacionados ao prejuízo que a poluição impõe às atividades normais, em termos de despesas com o tratamento médico e internação hospitalar”*. Adicionado-se a estes impactos, os danos referentes à perda de produtividade e as faltas ao serviço em decorrência das doenças desencadeadas pela poluição urbana, podendo-se considerar a perda do patrimônio urbanístico pela corrosão direta dos poluentes ou na forma de chuva ácida, que impacta a fauna e flora da região na área de influência, bem como, os impactos de abrangência global dos gases de efeito estufa – GEE’s que, somente nas últimas décadas, passaram a ser considerados como externalidades dos transportes urbanos, que utilizam combustíveis fósseis como energéticos.

Para Tolmasquim *et al.* (2000), *“o valor econômico de um recurso ambiental normalmente não é observado no mercado por intermédio de um sistema de preço. No entanto, como os demais bens e serviços presentes no mercado, seu valor econômico deriva de seus atributos, com a peculiaridade de que estes atributos podem estar ou não associados a um uso”*. Este considera o Valor Econômico do Recurso Ambiental – VERA de forma desagregada em Valor de Uso (VU), sendo composto pelo uso direto, indireto e de opção; e Valor de Não-Uso (VNU), também, denominado de Valor de Existência (VE). Tendo sua expressão algébrica dada pela Equação (1):

$$\text{VERA} = \text{VU} + \text{VNU} \rightarrow \text{VERA} = (\text{VUD} + \text{VUI} + \text{VO}) + \text{VE} \quad (1)$$

Onde:

- VU:** O valor de uso seria aquele que as pessoas atribuem a um determinado recurso ambiental pelo seu uso presente ou pelo potencial uso no futuro.
- VUD:** O valor de uso direto é aquele que os indivíduos conferem ao recurso ambiental em razão do bem-estar proporcionado pelo seu uso direto.
- VUI:** O valor de uso indireto é o atribuído pelas pessoas a um recurso ambiental ou benefício advindo do ecossistema de forma ampla, tal qual o mecanismo de sequestro de carbono, que minimiza o efeito estufa, como a preservação das florestas, por exemplo.
- VO:** O valor de opção seria aquele em que os indivíduos estariam dispostos a pagá-lo para mantê-lo disponível para uso futuro, seja de maneira direta, ou não, a exemplo do ar mais limpo para as futuras gerações.
- VNU ou VE:** O valor de não-uso ou valor de existência seria um valor dissociado do uso (embora seja um consumo ambiental), proveniente de aspectos morais, culturais, éticos ou altruísticos com relação aos direitos de existência de espécies em extinção ou valores culturais sob ameaça (sítios arqueológicos).

O ar atmosférico poderia ser classificado como um valor de uso direto, ao ser utilizado como insumo no processo de combustão dos combustíveis fósseis, pois sem o ar não haveria a

queima do combustível. Entretanto, Motta (1997) exemplifica o oxigênio como valor de uso indireto, quando trata do recurso ambiental da biodiversidade. Considerado, ainda, como valor de opção pela necessidade de ser preservado ou valor de existência, pois sem ele ou fora do padrão de uso salutar, os humanos e animais não sobreviveriam. Creio que a classificação, em grande parte, depende do foco do problema e da hipótese de trabalho do analista. Acredito que não seja fundamental sua pré-classificação, bastando à estimativa do passivo ambiental de poluí-lo, para que se possa reduzir tal ação danosa, em se tratando ao setor de transporte.

Entretanto, ao analisar as respostas dadas pela sociedade americana e britânica, quanto à percepção delas sobre a identificação do risco de danos ambientais atmosféricos, quando comparadas às dos especialistas e técnicos em fins dos anos 80 e início dos anos 90, Tolmasquim *et al.* (2000) destacam que, *“apesar da importância atribuída pela comunidade científica aos riscos causados pelos poluentes atmosféricos, não é significativa a percepção da sociedade americana e britânica em relação a estes”*. Enfatiza que, *“estes resultados confirmam a nossa opinião de que, o uso de técnicas de valoração baseadas na função de demanda para valorar os danos causados à saúde humana pela poluição atmosférica implicam em resultados pouco confiáveis, principalmente se considerarmos a sociedade brasileira. Infelizmente, o Brasil não tem nenhuma evidência cientificamente comprovada da percepção do dano”*.

5.1. O VERA_{AR LOCAL} dos Gases de Efeito Local – GEL's

Por não se tratar de pesquisa que objetiva medir a percepção do usuário de transporte público por ônibus, quanto ao valor que estaria disposto a pagar pela redução da poluição atmosférica causada pelo SIT-FOR, para se estimar os custos sociais da poluição do ar atmosférico. Optou-se por adotar os valores da *proxy* apresentada na referência IPEA (1999), para os gases de efeito local – GEL's, na valoração do custo ambiental da poluição atmosférica do SIT-FOR. O IPEA (1999) apresenta os custos da poluição, que foram obtidos a partir dos *“estudos elaborados por várias fontes. Os valores originais, expressos em US\$/Kg de emissão, foram transformados em reais. Como estes valores refletem os custos das sociedades europeias e norte-americanas – e na ausência de estudos específicos sobre as condições brasileiras – estes foram reduzidos segundo a relação aproximada das rendas per capita brasileira e norte-americanas”*. Tais valores foram atualizados para o ano de 2002, e convertidos para reais por tonelada (R\$/t), com o valor médio do real frente ao dólar americano para o ano de 2002, de 1 US\$ = R\$ 2,914, obtendo-se os seguintes valores: a) NO_x (R\$ 3.028,60/t); b) NMVOC/HC (R\$ 3.082,68/t); c) CO (R\$ 513,78/t) e d) MP (R\$ 2.460,74/t).

5.2. O VERA_{AR ESTUFA} dos Gases de Efeito Estufa – GEE's

Para Vrolijk (2003), o ponto de mudança na direção das regras para comercialização dos GEE's, teve início em 1997, com o Protocolo, mas somente a partir de 2001, com a COP-7, em Marrakesh, foi que *“o Acordo de Marrakesh possibilitou melhor compreender os mecanismos estabelecidos no Protocolo e trazê-lo para mais próximo da realidade”*. Este acredita que *“com tal aumento da certeza, o mercado da demanda de emissões cresceu”*. Enumera quais seriam os títulos comercializados no mercado internacional de emissões, os quais se aproveita para descrever seus significados, sendo: a) *Reduções Certificadas de Emissões – RCE's (Certified Emission Reductions – CERs)*: são as permissões produzidas a partir dos projetos na modalidade de mecanismo de desenvolvimento limpo – MDL; b) *Unidades de Redução de Emissões – URE's (Emission Reduction Units – ERUs)*: são as permissões obtidas nos projetos da modalidade de implementação conjunta – IC; c) *Unidades*

de *Quantidades Especificadas* – *UQE's* (*Assigned Amount Units* – *AAUs*): trata-se da quantidade dos GEE's que cada país do Anexo B do Protocolo de Quioto é obrigado a emitir no período de comprometimento de 2008 a 2012, onde a unidade representa uma tonelada de CO_{2EQ}; d) *Unidades Removíveis* – *UR's* (*Removal Units* – *RMUs*): são as permissões obtidas a partir dos projetos voltados para o sequestro e estocagem de CO₂.

Segundo POINT CARBON (2003), os primeiros entendimentos entre os compradores e vendedores das Reduções Certificadas de Emissões – RCE's com o mecanismo MDL, se dão em torno de acordo entre as partes na forma de um Memorando de Entendimento – ME (*Memoranda of Understanding* – *MoUs*), que não obriga a aquisição ou mesmo a venda entre estes, simplesmente demonstra uma intenção em adquirir ou vender as RCE's. A existência desses acordos prévios geralmente ocorre de forma sigilosa, pois o país investidor deseja deixar de fora os outros concorrentes, ou simplesmente, devido ao fato de que os ME's são parte de uma negociação não concluída. Tal característica explica, em parte, a dificuldade em se obter informações sobre o preço de mercado da tonelada do CO_{2EQ}, porém, a partir de entrevistas realizadas pela POINT CARBON (2003), junto aos países compradores de RCE's, que se encontram em processo de negociação dos ME's, identificou-se um intervalo de €3,00 a 6,50/tCO_{2EQ}.

No primeiro semestre de 2004, a empresa TransMilenio S.A. e a Corporación Andina de Fomento – CAF apresentaram-se como empresas proponentes num projeto MDL do setor de transportes (*Project Activity Host Company*), e propuseram a Holanda como o país membro do Anexo B do Protocolo de Quioto (*Annex B Project Sponsor The Project Activity*), através do Ministério da Habitação, Planejamento Espacial e Ambiental do Governo Holandês e do seu Fundo de Carbono (*The Netherlands Clean Development Mechanism Facility* – *NCDMF*), com a intenção de adquirir as Reduções Certificadas de Emissões – RCE's, obtidas pelo Projeto TransMilenio (TRANSMILENIO, 2004). Embora parceiros na compra e venda das RCE's, não foi possível identificar na proposta, qualquer citação do valor de venda, preço da tonelada de CO_{2EQ} ou o montante do negócio que se pretendia transacionar na modalidade MDL, caso o órgão executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (*Clean Development Mechanism Executive Board* – *CDM/EB*) tivesse aprovado a metodologia submetida, sendo o CDM/EB credenciado pela Conferência das Partes – COP, para validar as propostas submetidas ao Protocolo. Por se tratar do Governo Holandês, acredita-se que o valor a ser negociado fique em torno de € 5,50/tCO_{2EQ} (NCDMF, 2004), tendo a cotação média do Euro (€) o valor igual a R\$ 2,777, em 2002. O que poderia servir de parâmetro para outros projetos do setor de transportes, no âmbito do MDL do Protocolo de Quioto, para os países latino-americanos, inclusive quanto à análise do potencial do SIT-FOR, sendo mais indicado do que qualquer valor médio obtido a partir de referências internacionais.

5.3. A Estimativa do VERA_{AR}

Multiplicando-se as quantidades reduzidas pela troca de combustível das Tabelas 2 e 3 pelos valores monetários do IPEA (1999) e do preço estimado de €5,50/tCO_{2EQ}, obtém-se para o diesel e o GNV, os valores do VERA_{AR}, desagregado nas suas parcelas de efeito local e estufa (negociável pelo Protocolo), conforme se observa nas Tabelas 4 a 6.

Tabela 4: Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico – $VERA_{AR}$ para o Diesel, em Reais (R\$) de 2002

Diesel	$VERA_{AR\ LOCAL}$	$VERA_{AR\ ESTUFA}$	$VERA_{AR}$
ANO	GEL's	GEE's	TOTAL
1991	5.016.959,13	1.573.353,55	6.590.312,67
2002	7.858.451,50	2.464.465,47	10.322.916,97
1991 a 2002	82.001.475,36	25.716.237,44	107.717.712,81
Média Anual (1991 a 2002)	6.833.456,28	2.143.019,79	8.976.476,07

Portanto, ao definir o valor da tonelada do dióxido de carbono equivalente (tCO_{2EQ}) e estimado o valor correspondente ao $VERA_{AR\ ESTUFA}$, será identificada a sua importância relativa no cômputo do $VERA_{AR}$. Observa-se que em função da cotação adotada, o valor correspondente ao passivo ambiental dos GEE's, em 2002, seria de 23,87% do total estimado de R\$ 10.322.916,97, ou seja, menos de ¼ do valor estimado. A principal parcela do custo ambiental da poluição atmosférica do SIT-FOR seria decorrente dos GEL's, que corresponderia a 76,13%, estando seus valores absolutos dispostos na Tabela 4.

Para o GNV, o valor correspondente a externalidade dos GEE's seria percentualmente maior do que o diesel, e igual a 29,96% do total estimado de R\$ 7.187.908,45, ou seja, próximo a 1/3 do valor global. A principal parcela do custo ambiental da poluição atmosférica do SIT-FOR movido a GNV também seria decorrente dos GEL's, que corresponderia a 70,04%, estando seus valores absolutos dispostos na Tabela 5.

Tabela 5: Estimativa do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico – $VERA_{AR}$ para o GNV, em Reais (R\$) de 2002

GNV	$VERA_{AR\ LOCAL}$	$VERA_{AR\ ESTUFA}$	$VERA_{AR}$
ANO	GEL's	GEE's	TOTAL
1991	3.213.885,40	1.374.988,49	4.588.873,89
2002	5.034.157,52	2.153.750,93	7.187.908,45
1991 a 2002	52.530.494,64	22.473.989,13	75.004.483,77
Média Anual (1991 a 2002)	4.377.541,22	1.872.832,43	6.250.373,65

Tabela 6: Estimativa da Redução do Valor Econômico do Recurso Ambiental do Ar Atmosférico – $VERA_{AR}$ do Diesel para o GNV, em Reais (R\$) de 2002

Diesel menos GNV	$VERA_{AR\ LOCAL}$	$VERA_{AR\ ESTUFA}$	$VERA_{AR}$
ANO	GEL's	GEE's	TOTAL
1991	1.803.073,73	198.365,06	2.001.438,78
2002	2.824.293,97	310.714,55	3.135.008,52
1991 a 2002	29.470.980,72	3.242.248,32	32.713.229,04
Média Anual (1991 a 2002)	2.455.915,06	270.187,36	2.726.102,42

Entretanto, quando se computa a redução efetiva na Tabela 6, observa-se que para o ano de 2002, o $VERA_{AR\ ESTUFA}$ representa apenas R\$ 310.714,55, o que percentualmente responderia por apenas 9,91% do $VERA_{AR}$, correspondendo ao valor econômico da redução de 12,61% do CO_{2EQ} , obtida pelo uso do GNV. Mesmo considerando um período decenal de GEE's abatidos, e com valores constantes, o montante não seria suficiente para viabilizar a substituição integral da frota a diesel por uma movida a GNV.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados esperados das reduções globais não acontecerão se não se agir localmente. Desta forma, convém aos municípios incorporarem as metas e objetivos da Convenção-Quadro e do Protocolo de Quioto, quando da elaboração dos planos de governos locais, inclusive do Setor de Transporte Público. Possibilitando, que o Brasil consiga cumprir os acordos aos quais ratificou, mesmo estando desobrigado a reduzir suas emissões num primeiro momento (2008 a 2012). Todavia, os compromissos subscritos na adoção de medidas em prol do desenvolvimento limpo e auto-sustentado, passaram a fazer parte do ordenamento jurídico nacional, requerendo que sejam observados e atendidos na forma da lei, por todos os entes federados, dentre os quais, os municípios.

Devido ao pequeno valor representado pelos GEE's no cômputo total do $VERA_{AR}$, torna urgente que a política de transportes esteja conjugada às políticas ambientais e de saúde, necessitando que os GEL's sejam albergados por algum instrumento jurídico, a exemplo do Protocolo de Quito, que embora a poluição de efeito local não tendo valor de mercado, se possa justificar a sua redução com lastro legal nos princípios ambientais da precaução, da prevenção e do poluidor pagador, pois os GEL's além de serem monetariamente maiores, também, ocasionam danos à saúde pública, principalmente, aos grupos sociais representados pelas crianças e idosos.

A metodologia de verificação da redução dos poluentes de efeito estufa deve ser aprovada pelo órgão executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (*Clean Development Mechanism Executive Board – CDM/EB*), sendo o CDM/EB credenciado pela Conferência das Partes – COP para tal fim. No caso dos transportes públicos por ônibus a emissão dos poluentes tem por base o consumo de combustível utilizado para produzir a quilometragem rodada, o que facilita a verificação da redução, pois a quilometragem é um insumo controlado na produção de transportes, uma vez que serve para o cálculo tarifário. Desta forma, não se observa maiores problemas em indicar o MDL para os transportes públicos por ônibus no caso específico da troca de energético (GNV em substituição ao diesel), desde que a metodologia seja aprovada no âmbito do CDM/EB.

Embora o Protocolo de Quioto seja um evento portador de futuro, este ainda não possui um valor de mercado do CO_{2EQ} que se equipare aos custos dos GEL's, e que seja isoladamente suficiente para possibilitar a troca do material rodante de uma frota de ônibus como a do município de Fortaleza. Conclui-se, que o mesmo tem um papel minoritário na questão do passivo ambiental, quando comparado aos GEL's, possuindo um impacto incremental na troca do GNV, que é menos poluente que o diesel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brasil (1994) *Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*, versão em língua portuguesa editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores, Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>, Brasília, DF.
- Brasil (1998) *Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*, versão em língua portuguesa editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores, Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>, Brasília, DF.
- Halsn+s, K., Painuly, J. P., Turkson, J., Meyer, H. J. e Markandya, A. (1999) *Economics of Greenhouse Gas Limitation – Main Reports: Summary Guidelines*, United Nations Environment Program – UNEP, Centre on Energy and Environment, Dinamarca, Risø National Laboratory.
- IEA (2000) *The Road From Kyoto – Current CO₂ and Transport Policies in the IEA*, International Energy Agency, 1ª ed., Paris, IEA Publications.

- IEA (2000a) *Emission Baselines – Estimating the Unknown*, International Energy Agency, 1ª ed., Paris, IEA Publications.
- IPCC (1996) *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: workbook*, The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Unit for GHG Inventories, IPCC/OECD/IEA, Vol.3, France.
- IPCC (2001) *Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. The Intergovernmental Panel on Climate Change, 1ª ed., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY.
- IPEA, (1999) *Redução das Deseconomias Urbanas com a Melhoria do Transporte Público*, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, *Revista de Transportes Públicos*, Associação Nacional dos Transportes Públicos – ANTP, São Paulo, Ano 21, nº 82, pp. 35-92.
- Massarrat, M. (1997) Sustainability through cost internalization: Theoretical rudiments for the analysis and reform of global structures, *Ecological Economics*, Vol. 22, No. 1, pp. 29-39.
- Motta, R. S. DA (1997) *Manual para Valoração Econômica de Recursos Ambientais*, Rio de Janeiro, IPEA/MMA/PNUD/CNPq.
- NCDMF (2004) *Project Idea Note – PIN*, The Netherlands Clean Development Mechanism Facility Ministerie of Housing, Spatial Planning and the Environment, Disponível em: <<http://www.worldbank.org>>, Netherlands.
- NU (1997) *Protocolo de Kyoto para a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*, Nações Unidas, New York.
- PMF (2002) *Anuário de Transportes Urbanos de Fortaleza de 2001*, Prefeitura Municipal de Fortaleza, 1ª ed., Fortaleza, Empresa Técnica de Transporte Urbano S.A. – ETTUSA.
- POINT CARBON (2003) *Carbon Price Forecasting*, Annex I Parties' Current and Potential CER Demand, *Southeast Asia Forum on GHG Mitigation Mechanisms and Sustainable Development*, PointCarbon, International Emissions Trading Association (IETA), Asian Development Bank (ADB), Filipinas.
- Rezek, J.F. (2002) *Direito Internacional Público: curso elementar*, 9ª ed., São Paulo, Editora Saraiva.
- Ribeiro, S.K., Costa, C.V., David, E.G., Real, M.V. e D'Agosto, M.A. (2000) *Transporte e Mudanças Climáticas*, 1ª ed., Rio de Janeiro, Ed. COPPE/UFRJ, Mauad.
- Ribeiro, S.K. (2001) *Estudo das Vantagens Ambientais do Gás Natural Veicular: o caso do Rio de Janeiro*, 1ª ed., Rio de Janeiro, Ed. COPPE/UFRJ.
- Tolmasquim, M. T., Motta, R. S DA, Rovere, E.L. LA, Monteiro, A. G. e Barata, M. M. DE L., (2000) *Metodologias de Valoração de Danos Ambientais Causados pelo Setor Elétrico*, 1ª ed., Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro, Ed. COPPE/UFRJ.
- TRANSMILENIO (2004) *Clean Development Mechanism – Project Design Document (CDM-PDD)*, Urban Mass Transportation System Corporación Andina de Fomento – CAF, TransMilenio S.A., Bogotá.
- Vasconcellos, E. DE A. e Lima, I. M DE O. (1998) Quantificação das Deseconomias do Transporte Urbano: uma resenha das experiências internacionais, *Série Texto para Discussão*, Nº 586, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, Brasília, DF.
- Vrolijk, C. (2003) Private Sector Demand for CDM Projects, in *Southeast Asia Forum on GHG Mitigation Mechanisms and Sustainable Development*, Natsource Tullett Europe Ltd., International Emissions Trading Association (IETA), Asian Development Bank (ADB), Filipinas.

João Alencar Oliveira Júnior, D.Sc., professor do Departamento de Engenharia de Transportes – DET/CT/UFC e do Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes – PETRAN, Bacharelado em Direito pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR, Celular: (+55) 859991.0262 # Fone: (+55) 854008.94.88 Ramal 219 # Fax: (+55) 854008.94.88 Ramal 201 # E-mail: alencar@det.ufc.br ou jalencarjr@yahoo.com # Homepages: www.det.ufc.br ou www.geocities.com/joao_alencar

Márcio Peixoto de Sequeira Santos, Ph.D. (marcio@pet.coppe.ufrj.br) e **Suzana Kahn Ribeiro, D.Sc.** (skr@pet.coppe.ufrj.br), professores do Programa de Engenharia de Transportes – PET, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.