

POTENCIAL DA NEGOCIAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO A PARTIR DA AVALIAÇÃO DE TRAJETOS ALTERNATIVOS PARA UMA MESMA ROTA RODOVIÁRIA: UM ESTUDO DE CASO NO ESTADO DE SÃO PAULO-BRASIL

Daniela Bacchi Bartholomeu¹
José Vicente Caixeta Filho²

RESUMO

O aumento do número de praças de pedágio ao longo dos trechos rodoviários concedidos à iniciativa privada, decorrente do processo de concessão iniciado na década de 90, vem incentivando os motoristas a utilizarem rodovias alternativas. Tais rodovias, apesar de possuírem menor número de praças de pedágio, apresentam pior estado de conservação, maior número de buracos, menor sinalização etc., o que acaba exigindo maiores esforços do caminhão e acarretando maiores emissões de CO₂. Este artigo quantifica as emissões resultantes do percurso de uma rota bastante importante do Estado de São Paulo (Campinas a Bauru) por dois trajetos em diferentes condições de infra-estrutura: o trajeto 1 totalmente concedido à empresas privadas, com melhores condições de conservação das rodovias, mas que possui várias praças de pedágio e o trajeto 2, utilizado como rota alternativa. Os principais objetivos são verificar se há uma maior emissão de CO₂ no trajeto em pior estado de conservação; analisar como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) pode vir a auxiliar na redução das taxas de emissões de CO₂, através de negociações de crédito de Carbono, e precificar a diferença de CO₂ emitida entre os trajetos. Para tanto, cada trajeto foi percorrido duas vezes por um caminhão *Truck*, modelo MB 1418, transportando uma carga média de 7,4115 t. de acordo com os resultados obtidos, o trajeto em piores condições de conservação acarreta em maiores emissões de CO₂. Isto porque o trajeto 1 permite que velocidades maiores sejam alcançadas com níveis de rotações relativamente menores, uma vez que exige menor esforço do caminhão. Conseqüentemente, o caminhão apresenta um consumo específico de combustível cerca de 63% superior no trajeto 2, confirmando sua ineficiência energética. Além disso, verificou-se que o trajeto 2 emite 6,35kg a mais de carbono, em relação ao trajeto 1, o que resulta numa emissão anual de 18.162,94 t de carbono somente num pequeno trecho deste trajeto. Para compensar o custo com pedágio que o motorista teria ao percorrer o trajeto 1 (R\$59,70) a tonelada de carbono deveria valer US\$ 8,98, valor este altamente viável para um projeto de MDL.

Palavras-chaves: concessões de rodovias, pedágio, emissões

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento acelerado das atividades econômicas e industriais têm elevado as emissões de gases. Conseqüentemente, há um agravamento da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, sendo o gás carbônico (CO₂) um dos principais GEE, proveniente da utilização de combustíveis fósseis.

¹ Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz” – ESALQ/USP. Rua Ipiranga, 790 – Centro. 13400-485 - Piracicaba-SP. Email: dbbartho@esalq.usp.br

² Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz” – ESALQ/USP. Caixa Postal 132, 13400-970 - Piracicaba – SP. E-mail: jvcaixet@esalq.usp.br

A partir do Protocolo de Quioto (1997), as percepções de que o mercado poderia auxiliar no processo de redução das emissões dos GEE passaram a ganhar consistência com a idéia de se criar um valor transacionável para reduções de emissões dos GEE.

Dentro desse princípio, foi estabelecido o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), a partir do qual cada tonelada de gás carbônico deixada de ser emitida, ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento, poderá ser negociada no mercado mundial, criando um novo atrativo para redução das emissões globais. Os países do Anexo I³ (países industrializados, responsáveis por grande parte das emissões), provavelmente, estabelecerão cotas para redução de CO₂ junto aos principais emissores. As empresas que não conseguirem (ou não desejarem) reduzir suas emissões, poderão comprar Certificados de Redução de Emissões – *Certified Emission Reduction* - (CRE) em países em desenvolvimento e usá-los para cumprir suas obrigações (Rocha, 2000).

Independentemente destas cotas serem estabelecidas ou não, nota-se uma nova postura dos grupos empresariais frente ao problema. O setor privado busca identificar novas oportunidades de negócios a partir do problema do aquecimento global. É possível observar, na última década, uma nova postura entre os grupos empresariais quanto ao uso do apelo ambiental. O interesse de ser percebido por seus clientes como “ambientalmente correto” é uma atitude legítima. Nota-se, no mercado internacional, que empresas já buscam investir somas significativas na mitigação dos GEE (Amaral, 1999⁴, citado por Rocha, 2000).

De acordo com Poole et al. (1998), apesar de o Brasil apresentar um dos menores índices de emissão de CO₂ energético do mundo, a participação relativa das emissões no setor de transportes é uma das mais elevadas do mundo. Isto decorre do fato de que o setor dos transportes ser o maior consumidor direto de combustíveis fósseis sendo dominante o modal rodoviário, tanto para carga como para passageiros. Além disso, a frota de veículos rodoviários tem crescido constantemente a taxas bem superiores ao crescimento econômico. De 1986 até 1996, o número de veículos por US\$ bilhão de PIB aumentou em 52%.

De acordo com estes autores, o setor de transportes foi responsável por 49,7% das emissões do país em 1996 seguido pelo setor industrial, com 34% das emissões totais.

Portanto, o setor de transportes rodoviários no Brasil é o que possui o maior consumo final de combustíveis fósseis, o que acaba gerando os maiores níveis de emissões de CO₂ na economia brasileira. Apesar de avanços tecnológicos que prometem grandes ganhos na eficiência dos veículos nos próximos anos estarem acontecendo, não é possível renovar de maneira adequada a frota brasileira de caminhões.

Particularmente para o caso do Brasil, outro agravante decorre do fato de que, atualmente, o grande aumento do número de pedágios nas rodovias concedidas está elevando os custos do transporte de cargas. Diante desta situação, os motoristas preferem evitar estas rodovias (com melhores condições de infra-estrutura), procurando rotas alternativas, com menos postos de pedágios, mas em pior estado de conservação. Isto provoca a necessidade de maior número de freadas, acelerações, troca de marchas, ocasionando maiores emissões de CO₂.

Portanto, diante das oportunidades econômicas que surgem a partir do Protocolo de Quioto por meio do MDL ou outros mecanismos de comercialização de Carbono que possam surgir, é possível o Brasil identificar, através do estudo do setor de transportes, um modo de

³Fazem parte do Anexo I os países: Alemanha, Austrália, Áustria, Belarus, Bélgica, Bulgária, Canadá, Comunidade Econômica Européia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos da América, Estônia, Federação Russa, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Letônia, Liechtenstein, Lituânia, Luxemburgo, Mônaco, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Polônia, Portugal, Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte, República Tcheca, Romênia, Suécia, Suíça, Turquia, Ucrânia. (MCT, 1999, citado por Mattos, 2001).

⁴ AMARAL, W.A.N. Mudanças climáticas, mercado de carbono e potencialidades do Brasil para desenvolvimento de projetos para Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. **Preços Agrícolas**, v.14, n.155, 1999.

reduzir suas emissões de CO₂. Uma alternativa (proposta neste artigo) é a substituição das rotas cujas condições exijam maiores esforços do caminhão e, conseqüentemente, resultem uma maior emissão de CO₂, por rotas mais ecológicas, onde estariam emitindo menor quantidade de CO₂.

Assim, se forem observadas alternativas menos poluentes, poderão ser emitidos créditos que seriam comercializados pelos agentes envolvidos.

2. O CONSUMO DE ENERGIA

Segundo Poole et al. (1998), o setor dos transportes é o maior consumidor direto de combustíveis fósseis. Como pode ser visto na Tabela 1, em 1996, o setor foi responsável por mais de 44% do consumo energético da economia brasileira devido, principalmente, à sua grande dependência em relação ao petróleo (nesse ano, o consumo de petróleo pelo setor de transportes correspondeu a 61,7% do consumo final energético da economia brasileira). Dados do INEE (2001), entretanto, revelaram um agravamento neste quadro em 1998, quando a participação dos transportes no consumo de combustíveis aumentou para 45,5%, sendo que este aumento foi acompanhado por um crescimento da dependência do petróleo (de todo o petróleo consumido pela economia brasileira em 1998, 63,3% foi demandado pelos transportes).

Tabela 1- Consumo Final de Energia no Brasil (em milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep))

	Combustíveis								Eletrici- dade		Total			
	Petróleo		Gás Natural		Carvão		Biomassa ^a						Total	
Setor	1996	1998	1996	1998	1996	1998	1996	1998	1996	1998	1996	1998	1996	1998
Agropecuário	4,5	4,4	-	0,0	-	0,0	0,0 ^a	0,0 ^a	4,5	4,5	0,8	0,9	5,3	5,4
Industrial	10,9	12,2	2,4	2,7	9,5	9,6	18,3	20,3	41,1	44,9	10,3	10,9	51,4	55,7
Comercial	0,5	0,5	0,1	0,1	-	0,0	0,2	0,1	0,7	0,8	2,8	3,3	3,6	4,1
Público	0,5	0,6	0,0	0,0	-	0,0	0,0	0	0,5	0,6	2,0	2,2	2,5	2,8
Transportes	36,3	41,2	0,0	0,0	-	0,0	7,0 ^b	6,6 ^b	43,2	47,8	0,1	0,1	43,4	47,9
Residencial	6,1	6,0	0,1	0,1	-	0,0	0,4 ^a	0,4 ^a	6,6	6,6	5,5	6,3	12,1	12,9
Consumo Final	58,8	65,0	2,6	3,0	9,5	9,6	25,9	27,4	96,8	105,2	21,5	23,7	118,3	128,8
Não Energético	9,4	11,2	0,8	0,8	0,1	0,2	0,6	0,5	10,9	12,7	-	0	10,9	12,7
Total	68,2	76,2	3,4	3,8	9,6	9,8	26,5	28	107,7	117,9	21,5	23,7	129,2	141,5

Fonte: Dados de 1996: Poole et al. (1998); dados de 1998: INEE (2001).

^a Exclui o consumo residencial e agropecuário da lenha.

^b Álcool para veículos.

Outro ponto que deve ser destacado é a dependência do setor de transportes em relação aos derivados de petróleo. Em 1996, este combustível respondia por 84% da matriz energética do setor, participação esta que aumentou para 86,1% em 1998.

A frota de veículos rodoviários tem crescido a taxas superiores ao crescimento econômico. De 1986 até 1996, o número de veículos por US\$ bilhão de PIB aumentou em 52% (Tabela 2).

Tabela 2 - Frota de Veículos Rodoviários

	1974	1980	1986	1990	1993	1996
Nº de Veículos (milhão)	5,4	10,8	15,0	18,3	22,7	27,5
<i>Crescimento médio no intervalo (%/ano)</i>		12,4	5,7	5,2	7,6	6,7

Fonte: Registro Nacional de Veículos Automotivos, citados por Poole et al. (1998).

Além disso, o consumo de energia do transporte rodoviário vem aumentando nesta última década, passando de $28.479 \times 10^3 \text{tep}$ em 1990 para $42.792 \times 10^3 \text{tep}$ em 1999, ou seja, um crescimento de 50,25% no período. A fonte de energia mais consumida é o óleo diesel, responsável por aproximadamente 52% do consumo total. A taxa de crescimento no período foi de 43,1%. Em seguida, tem-se a gasolina como fonte de energia mais utilizada nos transportes. Percebe-se, através da Fig. 1 que, com exceção do álcool hidratado, todas as demais fontes de energia apresentaram crescimento entre 1990 e 1999.

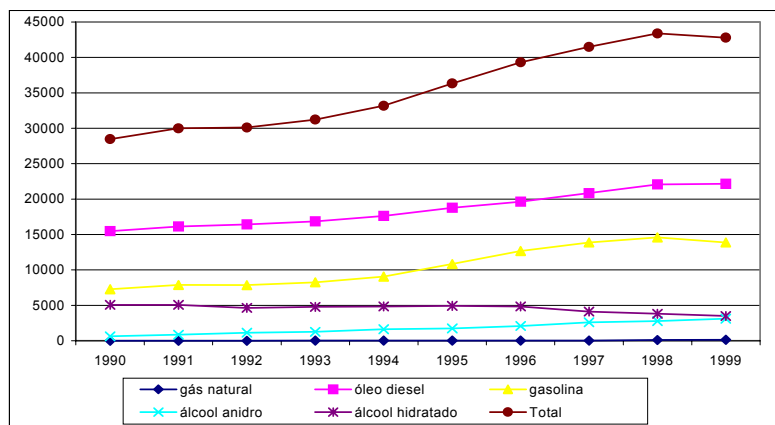


Fig.1. Consumo de energia do setor de transportes brasileiro por fonte (10^3tep). Fonte: BEN, 2000.

A evolução da participação das fontes de energia consumidas no transporte rodoviário pode ser vista na Fig. 2.

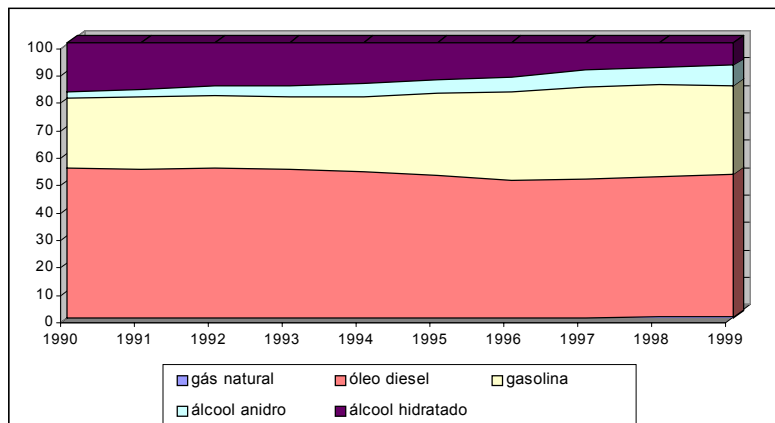


Fig. 2. Consumo de energia do setor de transportes brasileiro (%). Fonte: BEN, 2000.

3. EMISSÕES DE CO₂

Apesar de o Brasil apresentar baixos índices de emissão de CO₂, a participação relativa do setor de transportes nas emissões é uma das mais elevadas do mundo (Tabela 3).

Tabela 3 - Emissões de CO₂ - Combustíveis Fósseis: Brasil e Alguns Países Emergentes e da OCDE, 1995

	Brasil	Japão	UE	EUA	México	Índia	China	Rússia
kg CO ₂ /US\$ ₉₀ PIB _{PP}	0,33	0,46	0,51	0,85	0,51	0,73	0,92	2,24
CO ₂ per capita (t CO ₂ /hab)	1,81	9,17	8,55	19,88	3,46	0,86	2,51	10,44
Total CO ₂ (milhões de t CO ₂)	287	1151	3180	5229	328	803	3007	1548
Emissões nos Transportes (milhões de t CO ₂)	119	252	828	1580	101	112	167	108
Particip. dos Transportes (%)	41,5	21,9	26,0	30,2	30,8	13,9	5,6	7,0

Fonte: International Energy Agency, *CO₂ Emissions from Fossil Fuel Combustion: 1972-1995*, OECD, Paris (1997), citado por Poole (1998).

Em 1996, a participação do setor transportes nas emissões brasileiras de CO₂ aumentou ainda mais atingindo 49% do volume total de CO₂ emitido no país. Neste ano o setor foi responsável pelo consumo de 36,3 milhões de tep de petróleo, quase 62% do total consumido pelo país (o setor industrial aparece em seguida, com um consumo de 18,5%) (Poole et al., 1998). Como consequência, as emissões de CO₂ vem crescendo numa taxa muito próxima ao do aumento do consumo de óleo diesel no período.

A Tabela 4 resume uma estimativa das emissões diretas de CO₂ no consumo final energético pelos principais setores da economia. Os dados comprovam a predominância do setor de transportes nas emissões brasileiras de CO₂.

Tabela 4 - Emissões de CO₂ dos Combustíveis Fósseis por Setor da Economia Brasileira – 1996 (10⁶ t de CO₂)

Setor	Emissões		Participação (%)	
	1996	1998	1996	1998
Agropecuário	3,9	3,83	6	4,9
Industrial	21,4	22,85	34	29,2
Comercial	0,4	0,53	0,1	0,7
Público	0,4	0,52	0,1	0,7
<i>Transportes</i>	<i>31,2</i>	<i>35,45</i>	<i>49</i>	<i>45,2</i>
Residencial	5,3	5,28	8	6,7
Consumo Final Energético	62,7	68,46	97,2	87,4
Geração elétrica	-	3,16	-	4,0
Outras transformações e perdas	-	6,74	-	8,6
Consumo Energético Bruto	-	78,35	100	100

Fonte: Poole et al. (1998).

Na Tabela 5 tem-se a evolução das emissões de CO₂ no Brasil. O petróleo é a fonte de energia que mais contribui para as emissões de CO₂, respondendo por 75,2% do total emitido em 1993. É também uma fonte que teve grande crescimento entre 1974 e 1993. Neste período, as emissões de CO₂ derivadas da utilização aumentou 43%.

Tabela 5 - Histórico das Emissões de CO₂ no Brasil (Milhão t de C)

	1974	1980	1986	1990	1993
Gás Natural	0,49	0,79	2,27	2,72	3,05
Petróleo	32,1	42,6	39,0	41,5	45,9
Carvão	2,86	6,32	10,8	10,4	12,0
Total	35,44	49,66	52,11	54,60	61,0
PIB (US\$ ₉₆)	367	546	621	635	659
Índice (kg C/US\$)	96,6	91,0	83,9	86,0	92,6
Crescimento médio (kg C/ano)	-	-0,94	-1,17	0,51	2,20

Fonte: Série histórica e cenários de: Poole e Hollanda, *Cenários das Emissões de CO₂ dos Combustíveis Fósseis no Brasil*, citados por Poole et al. (1998).

4. O TRANSPORTE DE CARGAS NO BRASIL

O transporte rodoviário de cargas é responsável pela movimentação de aproximadamente 60% do volume total transportado no Brasil. A participação do transporte rodoviário é ainda mais significativa quando se analisa o consumo de combustíveis: cerca de 90% da energia total é consumida pelo setor de transporte.

A Fig.3 ilustra a evolução da frota a diesel no Brasil. Nota-se que a frota de todos os tipos veículos vem crescendo, mas o número de caminhões predomina na frota a diesel, com cerca de 62,5% de participação.

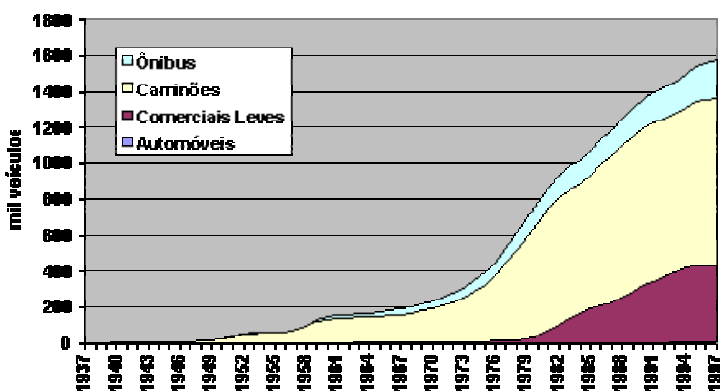


Fig. 3. Frota a Diesel no Brasil por tipo de veículo. *Fonte:* Balanço Energético (1998), citado por <http://ecen.com/eee16/frotabr.htm>.

Segundo estimativas do GEIPOT (2001), em 1999 havia 1.778.084 veículos de transporte de carga no país. Em 1997, a frota de caminhões tinha cerca de 14,5 anos (DENATRAN). Há, portanto, um número significativo de caminhões com idade média elevada, refletindo numa maior emissão de CO₂ por unidade.

5. O PROGRAMA DE CONCESSÕES RODOVIÁRIAS E O AUMENTO DAS EMISSÕES

No início dos anos 90 foi iniciado o programa de concessões rodoviárias a empresas privadas com cobrança de pedágio, visando reverter o mau estado de conservação da malha

rodoviária nacional. Com isso, o número de pedágios nas rodovias aumentou, atingindo, até março de 2001, aproximadamente 130 praças. Passam por elas cerca de 1,2 milhão de veículos por dia, gerando uma receita de aproximadamente R\$ 2,16 bilhões ao ano. Só o Estado de São Paulo responde por quase 60% do total das praças de pedágio exploradas pela Dersa (Desenvolvimento Rodoviário) e pelo Departamento de Estradas de Rodagem (DER), do governo do estado, e por concessionários privados (Revista CNT, 2001).

Se por um lado, a concessão das rodovias pode ser considerada benéfica no sentido de que a cobrança de pedágios passou a proporcionar serviços de limpeza e manutenção das vias, assistência mecânica, socorro médico, entre outros, por outro, tornou-se mais um entrave à competitividade dos agronegócios, pois eleva os custos do transporte de cargas (e conseqüentemente, o custo Brasil), notadamente para os transportadores de carga de baixo valor agregado.

Diante desta situação, a fuga dos motoristas do pedágio vem se tornando comum, especialmente para produtos com baixo valor agregado. Os motoristas preferem evitar as rodovias com melhores condições de infra-estrutura, procurando rotas alternativas, em pior estado de conservação, com maior número de buracos, curvas, etc. Isto provoca a necessidade de maiores freadas e troca de marchas, ocasionando maiores emissões de CO₂.

6. A BUSCA POR EFICIÊNCIA

Dados a importância do transporte rodoviário de cargas na matriz de transporte brasileira, a idade elevada da frota e a utilização de rodovias em pior estado de conservação (decorrente da fuga dos pedágios), podemos afirmar que existe uma ineficiência na emissão de CO₂. Desta forma, esta pesquisa se propôs a avaliar uma série de indicadores em uma determinada rota que pudesse ser percorrida por trajetos com diferentes estados de conservação e números de praças de pedágio. A partir daí, quantificou-se as emissões de CO₂ de cada trajeto e comparou-se o custo-benefício da evasão, além de se propor um projeto de redução das emissões, com a negociação de créditos de carbono através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

A rota utilizada para análise teve como um de seus extremos a cidade de Campinas (SP), e numa outra ponta a cidade de Bauru (SP), sendo escolhidos dois trajetos diferentes para a coleta de dados: o trajeto concedido (chamado de Trajeto 1) possui 565 km de extensão e 7 praças de pedágio, considerando uma viagem de ida e volta, totalizando um gasto, em outubro de 2001, de R\$ 90,00. Já o trajeto alternativo (2), utilizado em grande escala pelos motoristas, possui uma extensão de 545 km e apenas duas praças de pedágio, totalizando R\$ 30,30 com gastos em tarifas. Há, portanto uma economia de mais de 70% com o pagamento de tarifas de pedágio ao se desviar do pedágio.

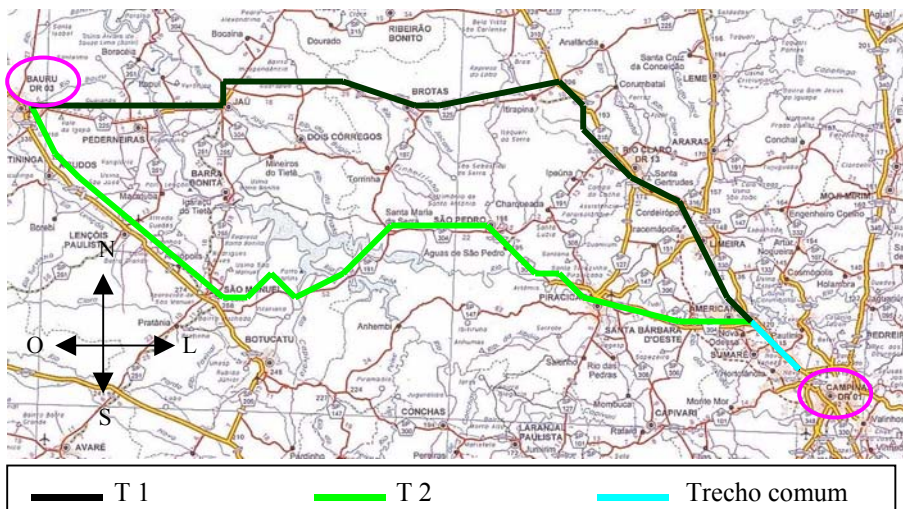


Fig. 4. Rota Campinas-Bauru e os dois trajetos (T1 e T2) escolhidos.

Cada rota foi percorrida duas vezes por um caminhão *Truck*, da Mercedes Benz, modelo 1418, fabricado em 1998. Todas as viagens foram realizadas pelo mesmo motorista, sempre nos mesmos horários, para evitar que os resultados fossem distorcidos. Além disso, antes de iniciadas as viagens, foi acoplado um computador de bordo (Blue Bird) no caminhão para coletar dados como evolução da rotação e da velocidade durante os percursos.

Com relação à quantificação de emissões de CO₂, foi utilizada uma relação sugerida por Pagliuso (2001)⁵. Nesse sentido, foram verificadas as emissões do caminhão utilizado e em ambos os trajetos percorridos através da relação “quantidade de CO₂ emitido/litros de diesel consumido”. Tal relação foi obtida através da seguinte sequência de cálculo:

$$\text{Densidade aproximada do Óleo Diesel: } 845 \text{ g/l} \quad (1)$$

$$\text{Composição química aproximada: } C_{13} H_{24} \quad (2)$$

Tais valores são aproximados porque a composição do óleo varia. Entretanto, esta variação é relativamente pequena e não altera significativamente o resultado dos cálculos.

A partir desta composição química, a massa molecular do Diesel pode ser calculada por:

$$M_{\text{Diesel}} = MC * 13 + MH * 24 \quad (3)$$

onde:

MC é a massa molecular do Carbono = 12 kg/kmol, e

MH é a massa molecular do Hidrogênio = 1 kg/kmol

$$M_{\text{Diesel}} = 12,0 \text{ kg/kmol} * 13 + 1,0 \text{ kg/kmol} * 24$$

$$M_{\text{Diesel}} = 156 + 24$$

$$M_{\text{Diesel}} = 180 \text{ kg/kmol} \quad (4)$$

A massa de carbono contida em um litro de óleo Diesel pode ser calculada por:

$$M_{\text{C}} = \text{densidade do óleo} * \text{fração de carbono}$$

onde:

$$\text{fração de carbono} = 156/180$$

$$\text{fração de carbono} = 0,87 \text{ g de carbono/g de óleo} \quad (5)$$

$$M_{\text{C}} = 845 \text{ g/l} * 0,87 \text{ g de C/g de óleo}$$

$$M_{\text{C}} = 735 \text{ g de carbono por litro de óleo} \quad (6)$$

A massa de CO₂ emitida por litro de óleo queimado é dada por:

$$M_{\text{CO}_2} = \frac{M_{\text{C}} * \text{massa molecular do CO}_2}{\text{massa molecular do carbono}}$$

$$M_{\text{CO}_2} = 735 \text{ g C/litro} * 44 \text{ g de CO}_2/12 \text{ g de C}$$

⁵ Personal e-mail (16/10/2001). Segundo o autor, tal sequência de cálculo é baseada nas seguintes referências bibliográficas:

IBP - INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO. **Curso de Informação sobre combustíveis e combustão.** Rio de Janeiro, RJ. 1975.

SHER, E. **Handbook of air pollution from internal combustion engines: pollutant formation and control.** Academic Press, 1998.

$$\text{MCO}_2 = 2695 \text{ g de CO}_2/\text{litro de Diesel}$$

(7)

Pagliuso (2001) afirma que este cálculo pressupõe que todo o carbono é oxidado para CO_2 , ao passo que na realidade uma pequena fração do carbono (1% ou 2% no caso dos motores Diesel) é oxidada apenas parcialmente e resulta em monóxido de carbono (CO). Esta percentagem, entretanto, não é significativa, uma vez que o CO acaba transformando-se em CO_2 . Além disso, deve-se levar em conta que a vida do CO_2 é de centenas de anos, enquanto a do CO é de apenas algumas dezenas de dias.

Já um estudo da ECEN (2001) documenta que, além dos gases de efeito estufa, o motor Diesel emite material particulado, que consiste em partículas de carbono e hidrocarbonetos absorvidos pelo Carbono. A massa de particulados emitida no motor típico é da ordem de 0,1% da massa de CO_2 . Assim, como a legislação não exige a análise do material particulado e como a proporção é pequena, esse material pode ser considerado como incorporado ao CO_2 para os fins de balanço.

Embora Pagliuso (2001) e o estudo da ECEN (2001) citem diferentes percentagens com relação à quantidade de diesel que não se transforma diretamente em CO_2 , ambos chegam à mesma conclusão, ou seja, que esta fração é desprezível. Portanto, como ambos consideram que todo o diesel consumido se transforma em CO_2 , esta será a premissa adotada neste estudo.

7. RESULTADOS

De maneira geral, as rodovias pertencentes ao trajeto 1 (T1) apresentam ótimas condições de conservação, sendo que, na sua maioria, as rodovias possuem pistas duplas ou até trechos de pistas com terceira faixa. Tais aspectos favorecem uma alta velocidade média, mesmo quando a rodovia possui tráfego intenso. Já o trajeto 2 (T2), apesar de possuir uma quantidade de praças de pedágio bem menor, não apresenta boas condições de conservação das pistas, possui trechos mal sinalizados, sem acostamento, asfalto defeituoso e intenso tráfego de caminhões. Apesar de ser verificada uma quantidade um pouco menor de caminhões no percurso alternativo, as condições precárias das rodovias, como pista simples, falta de sinalização e de pontos de ultrapassagem, acabam tornando o tráfego de caminhões intenso e o percurso perigoso.

Notou-se que as cargas são muito semelhantes nos dois trajetos, o que comprova que, realmente, há empresas que preferem pagar o pedágio (na sua maioria são grandes empresas ou transportadoras) e outras que “fogem” para a rota alternativa (nesta rota há uma predominância de caminhões sem logotipo de transportadora ou de empresa, caracterizando, portanto, o transporte autônomo).

Os dados coletados disseram respeito ao perfil de velocidade e de rotação, bem como à velocidade média e à rotação média do caminhão em cada trajeto, sendo que a partir desses dados puderam ser realizadas inferências com relação às emissões de CO_2 .

Com relação ao perfil de velocidade de cada trajeto, nota-se, através da Fig. 5, que o MB 1418 permanece por mais tempo em menores velocidades no trajeto 2. Velocidades maiores (entre 60 km/h e 86 km/h) são mais freqüentes no trajeto 1. A partir daí, e até 95 km/h, o caminhão permanece em velocidades maiores cerca de 1% do tempo a mais no trajeto 1. Daí em diante, ambos os percursos se igualam com relação às percentagens de tempo, uma vez que há uma baixa utilização de velocidades acima de 90 km/h em ambos os trajetos.

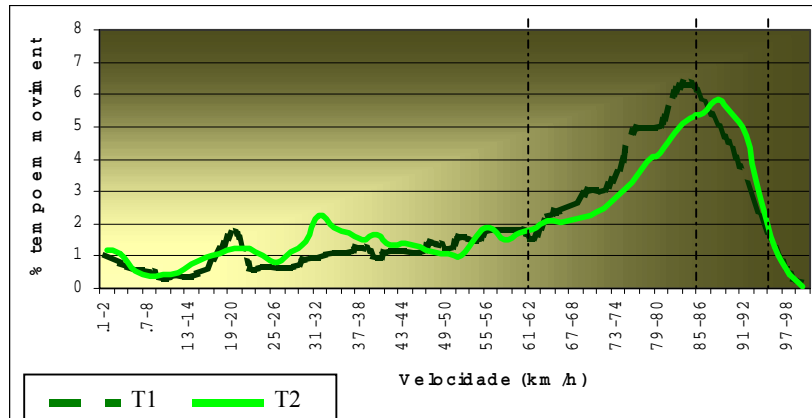


Fig. 5. Perfil de velocidade apresentado pelo MB 1418 ao percorrer os trajetos 1 (T1) e 2 (T2) entre os dias 10 e 17/10/2001

Pelo perfil de rotação de cada percurso, nota-se que há um predomínio de utilização de rotações mais baixas no trajeto 1. Já o trajeto 2, por possuir piores condições de conservação, faz com que o motorista exija mais do motor do caminhão, utilizando uma faixa de rotação maior. Além disso, o caminhão permaneceu mais tempo em rotações maiores neste trajeto, provavelmente devido à maior intensidade de aceleração exigida nas ultrapassagens, conforme pode ser visualizado na Fig. 6.

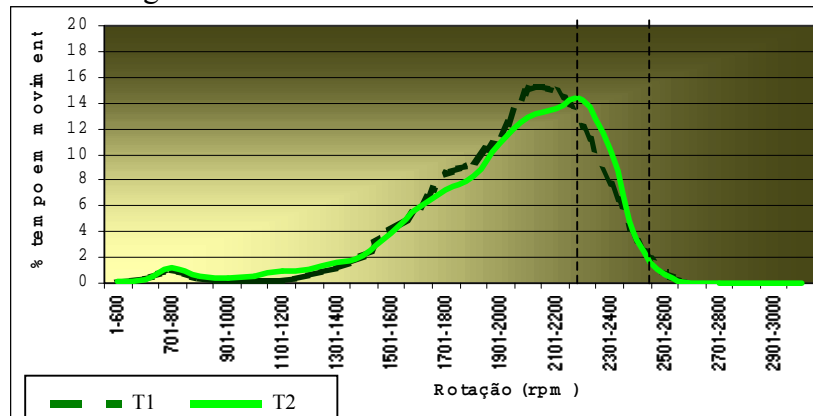


Fig. 6. Perfil de rotação apresentado pelo MB 1418 ao percorrer os trajetos 1 (T1) e 2 (T2) entre os dias 10 e 17/10/2001.

O trajeto 1, por possuir melhores condições de conservação das rodovias, além de maior quantidade de pistas duplas, favorece maiores velocidades. Desta forma, conforme ilustrado na Fig. 7, os resultados mostram que, tanto na ida quanto na volta, as velocidades médias são maiores no trajeto 1, confirmando a qualidade superior de conservação das pistas. Agregando-se ida e volta, a velocidade média do trajeto 1 foi cerca de 5% superior à observada no trajeto 2.

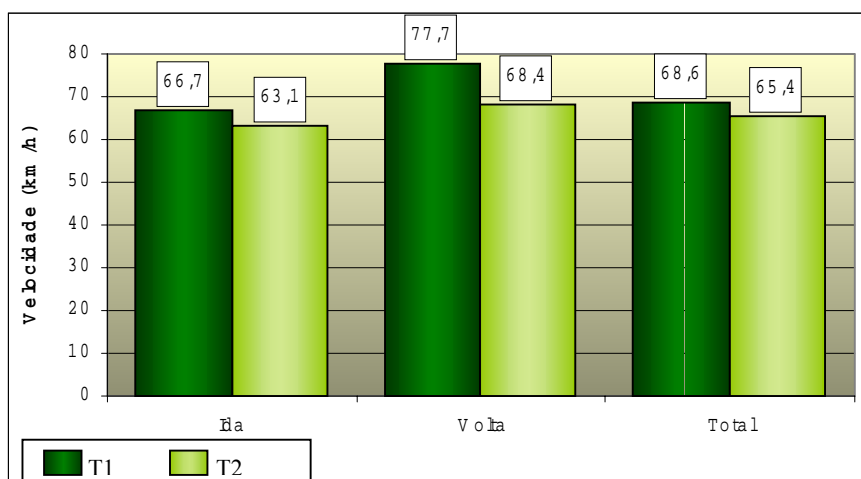


Fig. 7. Velocidade Média (km/h) apresentado pelo MB 1418 ao percorrer os trajetos 1 (T1) e 2 (T2) entre os dias 10 e 17/10/2001.

Por outro lado, quando se verifica a rotação média necessária para se atingir as velocidades médias observadas, nota-se que esta foi um pouco superior no trajeto 1 (Fig. 8). Entretanto, esta diferença é mínima se comparada à diferença na velocidade que produz. Em outras palavras, enquanto a velocidade média, por exemplo, da volta, foi 13,6% superior no trajeto 1, a rotação média necessária para tal diferenciação foi de apenas 4%. Agregando-se ida e volta, o mesmo pode ser notado, uma vez que a rotação média foi 0,4% superior no trajeto 1, enquanto sua velocidade foi, em média, 5% superior.

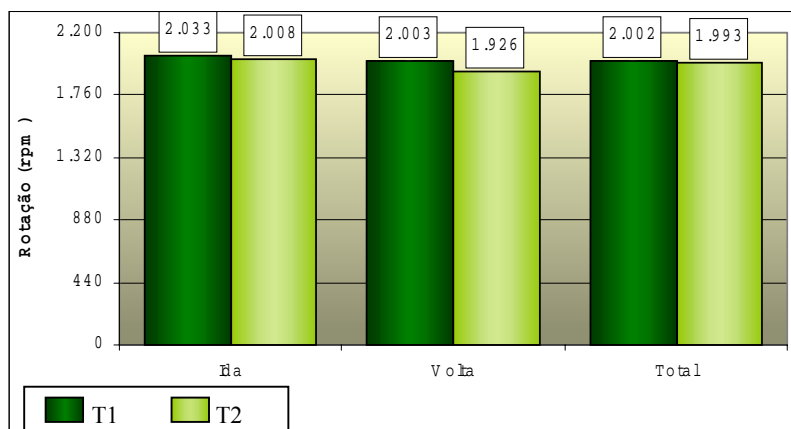


Fig. 8. Rotação Média (rpm) verificada nos trajetos 1 (T1) e 2 (T2) percorridos pelo MB 1418 entre os dias 10 e 17/10/2001.

Pode-se concluir, portanto, que o trajeto 1 é mais eficiente com relação ao esforço que exige do caminhão, uma vez que apresenta velocidades médias superiores com apenas um pequeno aumento da rotação.

Tal observação traz consequências diretas sobre o consumo de combustível. Quanto maior o esforço do caminhão, ou seja, quanto maior a rotação exigida, maior será o consumo de combustível.

Entretanto, não se pode analisar somente o consumo de combustível sem levar em conta o peso da carga, uma vez que quanto maior o peso, maior o esforço do caminhão, e, conseqüentemente, maior o consumo de combustível. Como houve diferença no peso da carga

transportada, é necessário, para considerar este efeito da carga sobre a quantidade de combustível consumida, utilizar o conceito de “Consumo Específico”, que indica a quantidade de litros consumida por tonelada transportada a cada 100 quilômetros, ou seja:

$$\text{Consumo Específico} = \left[\frac{\left[\frac{100}{\text{quilometragem (km)}} \right]}{\text{carga (t)}} \right] \quad (7)$$

Assim, levando em consideração as diferenças nas cargas transportadas, foi calculado o consumo específico do MB 1418 em cada trajeto. Conforme pode ser verificado a partir da Fig. 9, fica clara a diferença entre os dois trajetos analisados, uma vez que em ambas as viagens o trajeto 1 foi mais eficiente energeticamente, ou seja, resultou num menor consumo de diesel para transportar uma tonelada de carga por 100 km. Agregando-se as duas medições, nota-se que o trajeto 2, em pior estado de conservação, foi quase 63% mais ineficiente energeticamente que o trajeto 1, confirmando a hipótese do trabalho.

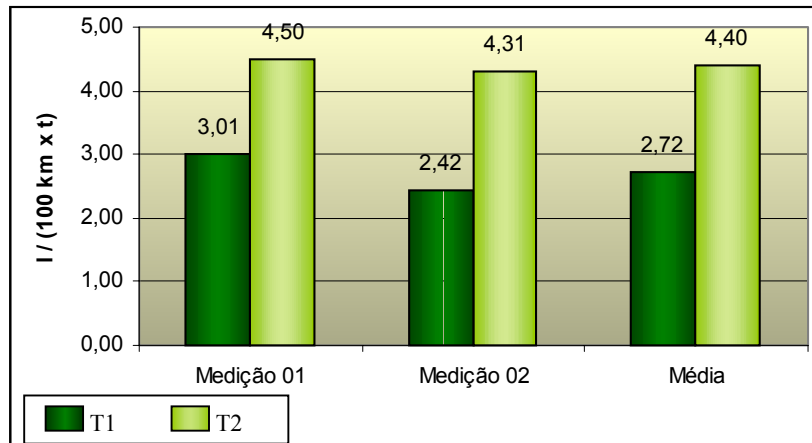


Fig. 9. Consumo Específico de Combustível do caminhão MB 1418 nos trajetos 1 (T1) e 2 (T2) entre os dias 10 e 17/10/2001.

7.1. QUANTIFICAÇÃO DAS ECONOMIAS COM PEDÁGIO E DAS EMISSÕES DE CO₂

Apesar de o motorista economizar R\$ 59,70 com tarifas ao percorrer o trajeto alternativo (pois gasta R\$ 90,00 no T1 e apenas R\$ 30,30 no T2), ele acaba arcando com um gasto maior de diesel neste trajeto, decorrente do maior consumo de combustível. Desta forma, foi verificado um consumo adicional de 8,7 litros de diesel, o que significa, em termos monetários, R\$ 58,65. Portanto, a economia real que o motorista obteve ao percorrer o trajeto de fuga foi de apenas R\$1,05 (59,70 – 58,65).

A seguir são apresentados os cálculos realizados na quantificação das emissões de CO₂, e da estimativa de preço da tonelada de C equivalente para incentivar o motorista a utilizar o trajeto mais eficiente energeticamente.

Tomando-se a referência de Pagliuso (2001), assumiu-se que cada litro de diesel consumido emite 2,695 kg de CO₂. Em função deste parâmetro, cálculos foram realizados para quantificar as emissões totais resultantes em cada trajeto, conforme ilustrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Quantificação das emissões pelo MB 1418 nos trajetos 1 e 2, entre 10 e 17/10/2001

Trajeto	Gasto de combustível	Emissões		
	l/t transp.	kg de CO ₂ t transport.	Kg de C t transport.	Total (t C / t transport.)
	(A)	(B) = (A) x 2,695 ^a	(C) = (B) x 0,27 ^b	(D) = (C/1000)
1	15,255	41,112	11,100	0,0111
2	23,980	64,626	17,449	0,0174
Diferença	8,725	23,514	6,349	0,0063

^a Um litro de diesel emite 2,695 kg de CO₂ (Pagliuso, 2001).

^b Uma tonelada de C equivale a 3,67 t de CO₂, o que significa que 1 t de CO₂ equivale a 0,27 t de C.

Inicialmente foi verificado o consumo de combustível por tonelada transportada (coluna “A” da Tabela 6) em cada trajeto. Multiplicando-se o consumo específico médio do trajeto 1, de 2,72 l / (100 km x t), pela quilometragem total do trajeto (565 km), chega-se a um consumo de 15,25 litros de combustível por tonelada transportada. Realizando os mesmos cálculos para o trajeto 2, mas considerando o consumo específico médio e a quilometragem referentes a este trajeto (respectivamente de 4,40 l / (100 km x t) e 545 km), chega-se a um consumo de 23,98 litros de diesel por tonelada transportada. Desta forma, há uma despesa adicional de 8,73 l/t transportada ao se percorrer o trajeto em pior estado de conservação (trajeto 2).

Este consumo superior de combustível verificado no trajeto 2 se reflete em emissões maiores de CO₂. Para verificar qual é esta diferença em termos de toneladas de carbono (unidade de referência utilizada pelo mercado), alguns cálculos adicionais devem ser realizados.

O primeiro passo é converter o consumo de diesel em emissões equivalentes de CO₂ (coluna “B” da Tabela 6), simplesmente multiplicando os valores obtidos em (A) pela relação fornecida por Pagliuso (2001), em que um litro de diesel emite 2,965 kg de CO₂.

Para transformar um kg de CO₂ em um kg de C é necessário multiplicar os valores da coluna “B” da Tabela 6 por 0,27, que é uma relação obtida a partir do cálculo estequiométrico detalhado a seguir.

A relação que se pretende chegar é:

$$\frac{C}{CO_2} \quad (8)$$

Como a massa atômica do C é 12 e do O é 16, substituindo os valores, tem-se:

$$\frac{12}{12 + 2 (16)} = \frac{12}{44} = 0,27 \quad (9)$$

Já o valor referente ao total emitido em toneladas de C (coluna “D” da Tabela 6) surge da simples divisão do valor apresentado na coluna “C”, dado em kg, por 1000.

Desta maneira, a diferença de emissões entre os trajetos é de 23,514 kg de CO₂, o que equivale a 6,3 kg de carbono. Em outras palavras, essa é a quantidade de carbono adicional que é emitida ao se percorrer o trajeto 2.

Portanto, mesmo com 20 quilômetros a menos, a rota em pior estado de conservação exige maior esforço do caminhão, o que resulta numa maior emissão de CO₂ e, conseqüentemente, de C.

Como foi verificado na Tabela 6, ao percorrer o trajeto 2, o caminhão consome 8,725 l/t a mais, o que, em termos monetários, equivale a um custo adicional com óleo diesel de R\$ 7,91 a cada tonelada transportada, conforme ilustrado na Tabela 7. Este valor é obtido através da multiplicação da coluna “F” da Tabela 7 pelo preço médio do diesel entre 18/11/2001 e 24/11/2001, que de acordo com a Agência Nacional do Petróleo (2001) foi de R\$ 0,907/litro.

Tabela 7 - Economia, em Reais, que o motorista teve ao percorrer o trajeto 2 com o caminhão MB 1418 em 16 e 17/10/2001

Economia Com Pedágio (R\$)	Despesa Adicional Com Combustível			Pedágio - Combustível Economia real (R\$)
	l / t transport.	R\$ / t transport.	R\$	
(E) ^a	(F) ^b	(G) = (F) x R\$ 0,907 ^c	(H) = (G) x t média transp.	(I) = (E) – (H)
59,70	8,725	7,91	58,65	1,05

^a Valor calculado na seção anterior.

^b Valor calculado na Tabela 30.

^c Preço médio do óleo diesel para o período de 18/11/2001 a 24/11/2001. *Fonte:* Agência Nacional do Petróleo (home-page: <http://www.anp.gov.br/Precos/aberto.asp>).

Para determinar o gasto adicional total com combustível decorrente da opção pelo trajeto 2, basta multiplicar a coluna “G” da Tabela 7 pela carga média transportada nas viagens. No caso, foram transportadas, em média, 7,4115 t pelo MB 1418 nas viagens realizadas. Deste cálculo resulta que o caminhoneiro tem um gasto adicional com combustível (coluna “H” da Tabela 7) de R\$ 58,65. Portanto, a economia real que o caminhoneiro tem ao escolher o trajeto 2 é de apenas R\$ 1,05, pois o motorista economiza R\$ 59,70 com pedágios, mas gasta um adicional de R\$ 58,65 com combustível (isto sem levar em consideração outros gastos provocados pelo estado de conservação da rodovia no caminhão, como maior gasto de pneu, maior utilização e esforço da embreagem, do freio, entre outros).

Portanto, o subsídio ou incentivo que deveria existir para atrair o caminhoneiro para o trajeto 1 deveria ser de R\$ 1,05. Com este valor, torna-se possível calcular o preço que a tonelada de C deveria ter no mercado para cobrir este custo adicional de R\$ 1,05 que se tem ao percorrer o trajeto alternativo.

Este subsídio, que eventualmente poderia ser assumido pelas concessionárias rodoviárias envolvidas no trajeto 1, poderia ser revertido na forma de comercialização das toneladas de C “economizadas”. Para ilustração, na Tabela 8 encontram-se os preços em Reais e em Dólar que a tonelada de carbono deveria valer no mercado para viabilizar o uso do trajeto 1, considerado mais “ecológico”.

Tabela 8 - Estimativa do preço da tonelada de C equivalente

$(J) = (I) / (D) \times 7,4115^a$	R\$ 22,28 / t
$(L) = (J) / 2,482^b$	US\$ 8,98 / t

^a Carga média em toneladas transportada pelo MB 1418 nas viagens realizadas

^b Preço do dólar comercial para venda em 29/11/2001. *Fonte:* O Estado de São Paulo (Home-page: <http://www.estado.estadao.com.br>)

Portanto, a partir da Tabela 8, obtém-se que a tonelada de carbono deveria valer R\$ 22,28, o que ao câmbio do dia 29/11/2001 (dólar comercial de venda) resulta um valor de US\$ 8,98/t.

Considerando que atualmente a tonelada de C está cotada entre US\$ 5,00 e US\$ 10,00/t (Rezende et al., 2001), nota-se que um projeto de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) pode se tornar viável.

A partir deste caso específico, extrapolou-se para uma quantificação de emissão considerando os dados fornecidos pelo DNER do Estado de São Paulo, referentes à Contagem de Fluxo de Veículos (VDM) realizada na rodovia SP-304.

Foi constatado que, anualmente, passam por uma rodovia que compõe o trajeto de fuga, cerca de 2.860.870 caminhões, o que equivale dizer que há um mercado potencial de redução de 18.162,94 t de C ao ano, somente nesta rodovia.

Tal emissão adicional poderia desaparecer a partir da utilização plena do trajeto em melhores condições (e mais pedagiado). Tal potencial de redução poderia ser proposto dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), uma vez que geraria créditos equivalentes ao volume de C deixado de se emitir ao longo do ano, por ter havido uma redução de emissões através da utilização de rodovias cujas emissões resultantes sejam menores.

Entretanto, para atrair o transportador para esse trajeto, a concessionária envolvida teria que propor um desconto no valor do pedágio, que poderia ser compensado pela comercialização dos créditos de C no mercado internacional decorrente. Alternativamente, tal desconto poderia ser proposto por alguma empresa privada ou pelo próprio governo.

Para a concessionária envolvida, uma iniciativa do gênero poderia também ser bastante interessante pelo fato da mesma deter um maior conhecimento sobre o nível de evasão de seus pedágios, assim como sobre as vicinais pelas quais os motoristas desviam. Além disso, aumentando o fluxo de veículos nestas rodovias e mantendo a tarifa recebida pela concessionária constante (uma vez que o motorista receberia um subsídio, cujo valor seria coberto pelo MDL), sua receita total também aumenta proporcionalmente. Já uma empresa privada poderia servir como um agente responsável em repassar os benefícios gerados do crédito aos transportadores, funcionando como um agente intermediário na transação que lhe implicaria uma comissão nesta transação. Já o Governo poderia ser estimulado a subsidiar as tarifas de pedágio, atraindo os motoristas para as rodovias privatizadas e, conseqüentemente, diminuindo seus próprios custos de manutenção das rodovias públicas (federais e estaduais).

7.2. SIMULAÇÕES

Apesar de ter sido confirmada a eficiência energética do trajeto 1, pôde-se perceber que este modelo é bastante sensível a algumas variáveis. Para ser possível calcular as emissões de cada trajeto, bem com a diferença de emissão entre eles, foram considerados:

- o preço do óleo diesel;
- o peso médio da carga transportada; e
- a taxa de câmbio.

Portanto, a fim de se verificar qual o grau de sensibilidade deste modelo às variáveis envolvidas, foram propostas variações de 5%, 10% e 15% em todas as variáveis.

Inicialmente verificou-se qual o impacto da variação no preço do óleo diesel no resultado final (*ceteris paribus*), ou seja, no preço da tonelada de C. Os resultados encontram-se reproduzidos na Tabela 9. Os cálculos aplicados para determinar tais valores são aqueles já detalhados anteriormente nas Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 9 - Impactos de variações no preço do óleo diesel no preço da tonelada de C

	-15%	-10%	-5%	5%	10%	15%
Variação	0,7709	0,8163	0,8616	0,9523	0,9977	1,0430
Despesa Adicional com Combustível (R\$/t)	6,73	7,12	7,52	8,31	8,7	9,1
Despesa Adicional com Combustível (R\$)	49,85	52,79	55,72	61,58	64,52	67,45
Pedágio - Combustível	9,85	6,91	3,98	-1,88	-4,82	-7,75
Preço da t de C (R\$)	209,26	146,93	84,61	-40,04	-102,36	-164,69
Preço da t de C (US\$)	84,31	59,20	34,09	-16,13	-41,24	-66,35

Os resultados confirmam que os cálculos apresentados são altamente sensíveis a variações no preço do diesel, uma vez que, enquanto o diesel varia em 10%, por exemplo, o preço da tonelada de C varia muito mais do que 10%.

Tais resultados também indicam que quedas no preço (ou um subsídio) do combustível tornam os custos deste projeto mais altos. Tal fato, se analisado no longo prazo, é bastante improvável, uma vez que a tendência é de substituição do óleo diesel por outros combustíveis mais “limpos”, e não um incentivo ao seu consumo. O mais provável, levando em consideração os avanços tecnológicos que, apesar de terem aplicabilidade maior no longo prazo, é justamente um desincentivo à utilização do diesel.

Conclui-se que quedas nos preços do diesel tornam o valor equivalente da tonelada de C mais alto porque, ao se conceder um subsídio no valor do litro de diesel, a despesa adicional com combustível que o motorista terá percorrendo o trajeto 2 será menor. Em outras palavras, a diferença entre o que ele estaria gastando com pedágio no trajeto 1 e a despesa adicional com combustível no trajeto 2 aumenta, uma vez que a despesa com pedágio se torna relativamente maior que a despesa com combustível. Com isso, seria necessário aumentar o valor do incentivo ao motorista caso o preço do diesel caísse.

Por outro lado, se ocorresse um aumento (ou uma taxaço) no preço do litro do diesel, a despesa adicional com combustível se eleva. Com um preço de R\$ 0,9232/l, o gasto com pedágio torna-se equivalente ao consumo de combustível, ou seja, o motorista não tem ganho monetário algum percorrendo o trajeto 2. Acima deste valor, o custo que o motorista tem com combustível supera os gastos com pedágio (R\$ 59,70). Portanto, torna-se desnecessário qualquer medida de incentivo ou subsídio ao valor do pedágio.

Com isso, fica claro que uma taxaço do preço do diesel pode ser uma outra alternativa para projetos de MDL uma vez que tal medida provocaria uma redução nas emissões de CO₂, pois:

- torna o custo do transporte pelo trajeto vicinal superior ao transporte pela via melhor conservada, transferindo os motoristas automaticamente para esta melhor via;
- desestimula a utilização do diesel em favor de combustíveis mais “limpos”, os quais podem se tornar economicamente viáveis.

Com relação às variações nos pesos médios da carga transportada (*ceteris paribus*), supôs-se que o consumo de combustível é proporcional à quantidade de carga transportada pelo caminhão, ou seja, há uma relação linear e positiva entre estas variáveis

Portanto, uma diminuição nas toneladas transportadas diminui o esforço do caminhão, e, conseqüentemente, o consumo de combustível. Com isso, a despesa com pedágio torna-se relativamente maior – a diferença [pedágio-combustível] aumenta – fazendo com que o valor do incentivo ao caminhoneiro deva ser maior.

Como conseqüência, se o peso da carga aumenta, o gasto de combustível também se eleva. Com isso, a “economia” com pedágio no trajeto 2 vai diminuindo, atinge um valor nulo quando a carga pesar 7,544 t, e torna-se negativo para pesos de carga superiores a esta referência.

Isto significa que, se por exemplo, o motorista percorrer ambos os trajetos com uma carga de 8,152 t (Tabela 10), fica tão clara a ineficiência do trajeto 2, que só o combustível adicional que é consumido neste trajeto torna-se superior ao valor das tarifas de pedágio do trajeto 1.

Com isso, os caminhões do tipo Truck com cargas acima de 7,544 t que trafegam por este trecho, deveriam automaticamente escolher o trajeto 1, em função do menor custo incorrido.

Tabela 10 - Impactos de variações no peso da carga transportada sobre o preço da ton de C

	-15%	-10%	-5%	5%	10%	15%
Variação	6,2998	6,6703	7,0409	7,7821	8,1526	8,5232
Despesa Adicional com Combustível (R\$/t)	7,91	7,91	7,91	7,91	7,91	7,91
Despesa Adicional com Combustível (R\$)	49,85	52,79	55,72	61,58	64,52	67,45
Pedágio - Combustível	9,85	6,91	3,98	-1,88	-4,82	-7,75
Preço da t de C (R\$)	209,26	146,93	84,61	-40,04	-102,36	-164,69
Preço da t de C (US\$)	84,31	59,20	34,09	-16,13	-41,24	-66,35

Deve-se destacar também que, como as relações assumidas para as variações entre carga transportada e consumo de óleo diesel são tipicamente lineares, os valores apresentados nas Tabelas 9 e 10 são basicamente os mesmos.

Analisando as variações da taxa de câmbio, é possível afirmar que desvalorizações do Real tornam o preço da tonelada de C mais competitivo no mercado, ou seja, o preço que a tonelada de C deveria valer no mercado para transferir o motorista para o trajeto 1 diminui (Tabela 11).

Tabela 11 - Impactos de variações na taxa de câmbio sobre o preço da tonelada de C

	-15%	-10%	-5%	5%	10%	15%
Variação	2,1097	2,2338	2,3579	2,6061	2,7302	2,8543
Preço da t de C (R\$)	22,28	22,28	22,28	22,28	22,28	22,28
Preço da t de C (US\$)	10,56	9,98	9,45	8,55	8,16	7,81

De qualquer forma, apesar do grande potencial, este modelo apresenta algumas limitações práticas, tais como:

- elevado grau de sensibilidade entre as variáveis envolvidas, o que exige grande fiscalização, pois foi visto que, por exemplo, de acordo com o peso da carga, torna-se automaticamente mais viável em termos econômicos percorrer o trajeto 1, mesmo com todas aquelas tarifas de pedágio envolvidas. Com isso, este caminhão (somente nesta viagem com esta carga) não estaria dentro daqueles que seriam incentivados, pois seu benefício já é tão grande percorrendo o trajeto 1 que supera os gastos com pedágio (não é preciso haver outro tipo de incentivo);
- elevado número de rodovias alternativas existentes para uma mesma rota, tornando necessária uma verificação caso a caso, ou seja, se o motorista realmente está deixando de utilizar um trajeto ruim ou se aquela é a única opção existente de trajeto para aquela rota; e
- elevado número de transportadoras, e, principalmente, de autônomos, o que dificulta a fiscalização (com relação ao peso da carga, e da origem e destino da rota).

7.3. UMA PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE MODELO DE “DESCONTO DE PEDÁGIO”

Se tal exemplo estudado for de fato uma boa simplificação da realidade, verifica-se que há um grande potencial de redução de emissões de CO₂ somente otimizando a utilização das rotas rodoviárias. Tal potencial poderia ser proposto dentro do MDL, uma vez que geraria créditos equivalentes ao volume de CO₂ deixado de emitir ao ano, por ter havido uma redução de emissões através da utilização de rodovias mais eficientes em termos energéticos.

Este projeto poderia ser implantado por uma concessionária rodoviária, por uma empresa privada ou pelo próprio governo.

Especificamente para uma concessionária, um projeto proposto é detalhado a seguir. Entretanto, deve-se lembrar alguns fatores que interferem e modificam os resultados:

- identificação do transportador (empresa ou autônomo);
- modelo e ano do caminhão;
- a rota percorrida (discriminando origem e destino); e
- o peso da carga transportada.

A identificação do autônomo (ou carreteiro) é importante uma vez que esta é a classe do transporte rodoviário onde mais se verifica a fuga dos pedágios. Em geral, grandes empresas e transportadoras já utilizam as rodovias que apresentam melhores condições de conservação (mesmo sendo pedagiadas).

Por outro lado, os autônomos têm fundamental importância no transporte rodoviário de cargas, uma vez que movimentam 85% da carga que circula nas estradas brasileiras e são donos de 65% da frota em atividade (NTCNet, 07/12/2001).

O modelo do caminhão é importante para verificar a capacidade de carga e quantos eixos possui (para realizar a equivalência em tarifas de pedágio). Esta classificação se daria em, por exemplo, categorias de caminhões, como carreta, truck, toco, bitrem etc. Da mesma forma, a idade do caminhão também é importante pois caminhões mais novos possuem tecnologias mais eficientes em termos de desempenho, controle de emissões, entre outros.

A rota é outro item importante, pois indica se realmente o motorista está deixando de passar pela rodovia vicinal, ou se aquela é a única opção de trajeto existente.

Como foi visto anteriormente, o peso da carga também deve ser considerado, uma vez que este pode tornar o trajeto 1 mais econômico, sem necessidade de incentivos extras, como o subsídio no preço do pedágio resultante dos créditos de carbono.

Uma idéia que se propõe é a seguinte: inicialmente deve-se restringir o universo do transporte rodoviário de cargas, pois somente aqueles agentes que realmente utilizam rodovias piores para fugir do pedágio é que devem ser considerados como objetos de estudo. Como geralmente as grandes empresas e transportadoras, em sua maioria, já utilizam os trajetos mais “ecológicos”, estariam excluídas deste universo. A classe dos autônomos é aquela que representa maior evasão, uma vez que acredita que o custo do pedágio será sempre superior aos outros custos observados no trajeto de fuga (como o consumo de combustível, por exemplo). Portanto, este projeto seria aplicável à classe dos autônomos.

A partir daí, deve-se haver uma fiscalização com relação:

- à verificação se o motorista é realmente autônomo ou se pertence a alguma transportadora;
- à rota que está percorrendo: deve-se verificar se ele realmente está deixando de utilizar uma via pior ou se esta é a única opção existente entre sua origem e destino; e
- o peso da carga que está transportando.

Com relação aos dois primeiros itens, a verificação se daria apenas com a nota fiscal que o motorista deveria ter em mãos ao passar pela cabine de pedágio. Já quanto à carga, uma alternativa seria a instalação de sensores e balanças eletrônicas, junto à própria praça de pedágio. Assim, no momento do pagamento da tarifa de pedágio, o atendente da cabine já teria disponíveis os dados pertinentes (peso total do caminhão, modelo e placa), devendo apenas conferir a nota fiscal do motorista identificando-o como autônomo e a rota que está percorrendo.

Além disso, as cabines de pedágio teriam acesso a uma base de dados com os trajetos alternativos existentes naquela região, além dos modelos, ano de fabricação e pesos dos caminhões, e respectivos “descontos”. Conforme as informações recebidas, identificando aquele caminhão (através da placa, modelo, número de eixos e peso), só faltaria a confirmação da rota. Quando o motorista mostrasse a nota fiscal, o operador da cabine apenas daria um “ok”, e o valor do desconto imediatamente seria aplicado.

A partir daí, duas alternativas poderiam ser consideradas:

- o desconto seria dado imediatamente ao valor da tarifa de pedágio; ou
- como aquele caminhão já está registrado no sistema da concessionária, esta apenas daria um comprovante com o valor do desconto ao motorista. O motorista pagaria a tarifa com o valor normal e guardaria os comprovantes. Após um período de tempo, ele poderia trocar os comprovantes de desconto por “vales-pedágio” equivalentes.

8. CONCLUSÕES

A partir do exposto, nota-se que, efetivamente, a rota analisada (Campinas – Bauru) apresenta trajetos com diferentes níveis de conservação e que o trajeto 2 (em pior estado), mesmo com 20 quilômetros a menos, acaba sendo mais ineficiente em termos energéticos e emitindo maior quantidade de CO₂.

Tais considerações podem ser comprovadas quando se analisa a evolução do perfil de velocidade e de rotação do veículo MB 1418 nos dois trajetos. Nota-se que em termos do esforço exigido do caminhão, o trajeto 1 é bem mais eficiente. Ao se analisar o consumo específico do caminhão, fica mais clara ainda a diferença existente entre os trajetos, e como um baixo grau de manutenção da via acaba influenciando de forma expressiva o consumo de combustível.

Foi encontrada uma diferença de C emitido entre os trajetos de 0,0063 t por viagem realizada por um caminhão tipo Truck transportando uma média de 7,4115 t. Também foi constatado que, anualmente, passam por uma rodovia que compõe o trajeto 2, cerca de 2.860.870 caminhões, o que equivale dizer que há um mercado potencial de redução de 18.162,94 t de C ao ano, somente nesta rodovia.

Portanto, se tal exemplo for de fato uma boa simplificação da realidade, percebe-se que há um grande potencial de redução de emissões de CO₂ somente otimizando a utilização das rotas rodoviárias. Tal potencial poderia ser proposto dentro do MDL, uma vez que geraria créditos equivalentes ao volume de CO₂ deixado de emitir ao ano, por ter havido uma redução de emissões através da utilização de rodovias mais eficientes em termos energéticos.

Um projeto de MDL é viável desde que identificados os pesos das cargas que tornem o projeto viável (peso máximo em que o trajeto 2 continue atraindo motoristas por apresentar um custo menor ao pagamento de tarifas de pedágio) e o preço do óleo diesel (da mesma forma, preço máximo que o litro de diesel deveria ter para incentivar a troca de trajetos).

Foi também considerado que uma alternativa para incentivar o motorista a percorrer o trajeto em melhor estado de conservação seria elevar os custos que ele teria ao percorrer o trajeto 2. Tais custos poderiam ser resultados de uma elevação da quantidade de carga transportada, o que aumentaria o consumo específico de combustível; ou de uma taxaço do preço do diesel, que aumentaria a despesa (em R\$) com combustível no trajeto 2. O primeiro fator é de difícil controle, uma vez que o transporte é realizado de acordo com a demanda (tipo de produto, volume e quantidade); entretanto, o preço do diesel pode ser aumentado naquele nível em que automaticamente o trajeto 2 se tornasse menos eficiente, também, em termos monetários.

Tal política, no entanto, não seria bem vista pelo setor e pelo país como um todo, pois resultaria em aumento de custos de fretes, que por sua vez seriam repassados aos custos dos produtos. Esta medida, portanto, acabaria elevando o custo Brasil.

Portanto, ao invés da taxaço do transportador, é proposto um incentivo a este transportador, através dos créditos de carbono gerados pela redução verificada nas emissões de CO₂ pelo setor. Foi verificado que esta política é viável, mas deve-se considerar algumas variáveis importantes que afetam os resultados, tais como peso da carga e o preço de diesel.

Diante da análise de cada uma delas, foi possível verificar que há limites (de peso e de preço do diesel) em que este projeto é viável. Acima deste limite, a troca de trajetos seria feita naturalmente.

Além disso, deve haver uma fiscalização com relação a estas variáveis importantes, bem como outras, já citadas durante a análise. A partir daí, foi proposta uma sugestão de como tal projeto poderia ser implantado. Apesar de haver necessidade de algumas mudanças no sistema já existente (como instalação de sensores e formação de uma base de dados), tais mudanças não são tão expressivas diante das mudanças maiores que vai provocar caso seja implantado: uma redução efetiva das emissões de CO₂, maior eficiência no transporte rodoviário de cargas (pois não haverá custos adicionais para se transportar a mesma carga por um rodovia melhor); geração de crédito para o país; redução de custos de manutenção das rodovias estaduais; e, o efeito maior, contribuição para a redução do efeito estufa, que por sua vez, também traz inúmeros benefícios para a humanidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANP – Agência Nacional do Petróleo. (2001). Home-page: <http://www.anp.gov.br/Precos/aberto.asp>.
- BEN – Balanço Energético Nacional (2000) – Departamento Nacional de Política Energética, *Ministério das Minas e Energia*, Governo Federal, Brasília. Home-page: <http://www.mme.gov.br>, 2001.
- CNT – Confederação Nacional dos Transportes (2001). *Revista CNT*. Home-page: <http://www.cnt.org.br>, 2001. Vários números.
- ECEN – Economia e energia. *Emissões em Veículos Pesados* (2001). Nº25 – Março/Abril. Home-page: <http://ecen.com/eee16/frotabr.htm>.
- Fernandes, E.S.L. (2001) Inventário da Emissão de Gases de Efeito Estufa – Setor de Transporte Rodoviário (Veículos Pesados), Brasil - 1990-1994. *ANP - Agência Nacional do Petróleo*. Home-page: <http://www.mct.gov.br>.
- GEIPOT – Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. (2000) *Anuário Estatístico dos Transportes*. Brasília. Home-page: <http://www.geipot.gov.br>, 2001.
- INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. (2001) *A Eficiência Energética e o novo modelo do setor energético*. Home-page: <http://www.inee.org.br>.
- NTCNet. *Notícias do Transporte*. (2001) Home-page: <http://www.ntcnet.org.br>. (várias datas).
- O Estado de São Paulo. (2001). São Paulo. Home-page: <http://www.estado.estadao.com.br>.
- Pagliuso, J. *CO₂ por litro de diesel*. (2001) Personal e-mail.
- Poole, A.D.; Hollanda, J.B.; Tolmasquim, M.T. (1998) *Conservação de energia e emissões de gases do efeito estufa no Brasil*. Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE).
- Rezende, D.; Merlin, S; Santos, M. (2001) *Seqüestro de Carbono: Uma experiência concreta*. 2.ed. Palmas: Instituto Ecológica, 178p.
- Rocha, M.T. *Aquecimento Global e o sequestro de carbono em projetos agro-florestais*. (2000). Piracicaba.
- Secretaria dos Transportes. (2001). Home-page: <http://www.sectran.sp.gov.br>.