

AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS

Daniela Bacchi Bartholomeu

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Thiago Guilherme Péra

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

José Vicente Caixeta-Filho

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

RESUMO

O OBJETIVO DESTA TRABALHO É AVALIAR O POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE) NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS DECORRENTES DA REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL. OS PRINCIPAIS PARÂMETROS UTILIZADOS PARA MENSURAR A EMISSÃO DE GEE SÃO RELATIVOS À DISTÂNCIA PERCORRIDA, QUANTIDADE DE CARGA TRANSPORTADA E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL, OS QUAIS FORAM COLETADOS COM DIVERSAS TRANSPORTADORAS, COMPONDO UMA AMOSTRA DE 145 VEÍCULOS. OS PRINCIPAIS RESULTADOS INDICAM QUE COM UM AUMENTO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA FROTA DE 0,5 KM/L HÁ UMA REDUÇÃO DE APROXIMADAMENTE 20% NAS EMISSÕES DE GEE. PORTANTO, AS REDUÇÕES DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL, ALÉM DE SEREM VANTAJOSAS ECONOMICAMENTE, TAMBÉM TRAZEM BENEFÍCIOS AMBIENTAIS. NESSE SENTIDO, HÁ UMA SÉRIE DE INICIATIVAS QUE PODEM SER UTILIZADAS PARA REDUZIR O CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS, TAIS COMO: TREINAMENTO DE MOTORISTA, MANUTENÇÃO PREVENTIVA, NOVAS TECNOLOGIAS, REDUÇÃO DO PESO DO VEÍCULO, RENOVAÇÃO DA FROTA E MELHORIAS NA EFICIÊNCIA DO MOTOR.

Palavras-chave: redução de consumo; impactos ambientais; mitigação GEE,

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo avaliar os impactos da redução do consumo de combustível no transporte rodoviário de cargas nas emissões de CO₂. Mais especificamente, estimar o potencial de mitigação das emissões decorrentes de ganhos de eficiência energética, expressa pelo aumento da relação “quilometragem percorrida/litro de combustível”.

Estimar a redução das emissões a partir de uma melhor gestão logística é extremamente difícil (IEA/OECD, 2001). Entretanto, é possível adotar iniciativas a partir de uma série de possibilidades que vêm sendo desenvolvidas ou que já estão disponíveis no mercado, com vistas a reduzir as emissões. O mais interessante é que as opções consideradas acabam trazendo benefícios econômicos, ao aumentar a eficiência e a produtividade do transporte, reduzir a necessidade energética e o consumo relativo de combustível. Muitas delas também apresentam impactos positivos sobre a segurança das viagens, reduzindo o risco de acidentes.

IEA/OECD (2009) indicam que, através de melhores tecnologias, tais como motores avançados, redução do peso dos implementos, melhoria na aerodinâmica e nos pneus, novos

caminhões podem se tornar pelo menos entre 30% e 40% mais eficientes até 2030. Apesar de os custos das tecnologias serem ainda uma incógnita, grande parte destas melhorias parece ser custo-efetiva.

Sistemas logísticos de informação que contribuam para um melhor uso dos veículos, assim como mudanças para veículos maiores, em alguns casos podem gerar ganhos adicionais de eficiência para o sistema de transporte.

Além disso, é fundamental a participação de motoristas e transportadoras neste processo. Está clara a importância de motoristas bem treinados e da definição de metas ou indicadores para ganhos de eficiência.

Com relação a combustíveis alternativos, dado que uma mudança para eletricidade ou hidrogênio ainda é difícil, devido às limitações tecnológicas ainda existentes (autonomia, por exemplo), biocombustíveis de segunda geração são apontados como uma alternativa interessante para descarbonizar a atividade (IEA/OECD, 2009).

Num escopo mais amplo, mudanças do modal rodoviário para modais alternativos mais eficientes energeticamente, como o hidroviário ou o ferroviário, também são consideradas opções atrativas para poupar energia e reduzir as emissões de CO₂. Entretanto, esta opção depende fortemente do tipo de carga que está sendo considerada e suas características quanto à perecibilidade, temperatura, tempo de viagem e exigências de padrões de qualidade. Também depende de uma oferta de infraestrutura adequada para permitir essa mudança de modal sem que haja prejuízos.

A redução do consumo de combustível impacta diretamente na redução de custo de transporte, bem como na mitigação de gases de efeito estufa - GEE. Uma série de estratégias pode ser adotada com o intuito de aumentar a eficiência do transporte através da redução do consumo de combustível. Neste trabalho, tais estratégias foram agrupadas em ações que permitem observar aumento da eficiência na direção; que envolvem sistemas de gestão; e que dizem respeito a novas tecnologias em veículos e acessórios. Obviamente, tais grupos não esgotam as possibilidades existentes, mas abrangem grande parte das ações possíveis.

1.1. Aumento da Eficiência da Direção

Melhoria nas técnicas de direção (ou “*eco-driving*”) pode contribuir de forma significativa para aumentar a eficiência do combustível e reduzir as emissões de CO₂. Além disso, também possui papel importante para aumentar a segurança nas estradas. Por isso, em alguns países, o treinamento de motoristas constitui parte relevante em programas nacionais de segurança.

Dentre as possibilidades, podem ser citadas:

- Manutenção preventiva
- Treinamento de motoristas e Operação ajustada ao veículo

1.1.1. Manutenção Preventiva

A realização de manutenções periódicas, de caráter preventivo, pode evitar desgastes maiores do veículo. Além de contribuir para minimização de gastos futuros com reparos, pode ajudar no sentido de economizar combustível e reduzir as emissões.

Como itens a serem observados durante estas manutenções, podem ser citados: regulagem de motores, calibração de pneus etc.

1.1.2. Treinamento do Motorista

A operação ajustada ao veículo corresponde à identificação da rotação e da potência mais eficientes durante as viagens. Por isso, está intimamente ligada ao modo de dirigir dos motoristas, os quais devem estar cientes e treinados para identificar estas faixas.

Além dos benefícios ambientais e econômicos decorrentes desta prática, é importante destacar os impactos positivos em relação ao aumento da segurança e à redução de risco de acidentes. Talvez devido a todos esses aspectos, o treinamento de motoristas vem sendo, atualmente, valorizado e indicado por uma série de empresas, em diversos países.

“*Eco-driving*” corresponde à utilização do veículo de modo a minimizar o consumo de combustível e as emissões (IEA/2010). Inclui ações como:

- otimizar a mudança de velocidade;
- evitar o veículo em marcha lenta, desligando o motor quando o veículo estiver parado;
- evitar acelerações e desacelerações bruscas;
- dirigir em faixa eficiente de velocidade.

Em conjunto, estas ações podem poupar até 20% de combustível em alguns casos, mas os dados experimentais em uma série de programas internacionais indicam que em média, entre 5% e 10% podem ser economizados (IEA/2010). Em suma, os dados apresentados em IEA (2010), indicam que, imediatamente após o treinamento, há benefício em termos de economia de combustível entre 5% e 15%, para carros, ônibus e caminhões. No médio-prazo (após 3 anos), os ganhos percentuais diminuem, já que o incremento maior já foi alcançado nos primeiros anos posteriores ao treinamento.

Além do treinamento em si, há uma série de equipamentos que podem contribuir para uma direção mais sustentável, informando o motorista, em tempo real, indicadores de mudança de marcha, velocidade, uso de freio e consumo de combustível. Segundo a IEA (2010), utilizando apenas tais equipamentos, é possível reduzir em 5% o consumo de combustível.

Neste sentido, um acompanhamento próximo do desempenho dos motoristas, elaboração e definição de metas e programas de estímulo/incentivo seria uma estratégia interessante para complementar e consolidar os resultados esperados pela adoção das tecnologias e equipamentos existentes.

1.2. Sistemas de gestão

Neste grupo de ações está inserida uma grande variedade de possibilidades, que vão desde a gestão de frotas até de movimentação. A escolha de cada curso de ação depende, certamente, dos objetivos das empresas tomadoras de decisão. Independentemente disso, todas, se bem avaliadas e dimensionadas, terão impactos positivos no que diz respeito às emissões de CO₂, uma vez que promoverão maior eficiência na atividade de transporte.

Dentre as possibilidades, destacam-se:

- Tecnologias “on-board”
- Gestão de fluxos e movimentação / Sistemas de roteirização e otimização
- Gestão da capacidade de transporte
- Gestão da idade da frota / Renovação

1.2.1. Tecnologias “On-board”

Existe uma série de equipamentos que podem ser utilizados simultaneamente com o propósito de gestão de frota, de risco, de direção e de combustível. Como exemplos, há tecnologias “on-board” que promovem economia de combustível, tais como equipamentos de diagnóstico que identificam e reportam problemas nos veículos aos motoristas, sistemas de informação que ajudem o motorista a maximizar a economia de combustível, e sistemas automatizados que aumentam a economia do veículo controlando algumas de suas funções. A Holanda tem se destacado nesta área, através de incentivos financeiros a fabricantes e consumidores para que adicionem certos sistemas de informação aos veículos (IEA/OECD, 2001).

Tais equipamentos podem contribuir para uma direção mais sustentável, informando o motorista ou ao gestor da frota, em tempo real, indicadores de mudança de marcha, velocidade, uso de freio e consumo de combustível. Segundo a IEA (2010), a utilização destes equipamentos pode reduzir em 5% o consumo de combustível.

Com diferentes enfoques, tecnologias envolvidas, níveis de complexidade e detalhamento, já estão disponíveis equipamentos e sistemas para auxiliar neste sentido, desenvolvidos tanto pelas próprias fabricantes de veículos pesados, quanto por empresas privadas.

1.2.2. Gestão de fluxos e movimentação: Sistemas de roteirização e otimização

A crescente disponibilidade de sistemas computacionais para gestão de frota e transporte mais eficientes também constitui oportunidade para redução das emissões. Inicialmente voltados para a redução de custos de transporte, através da otimização de fluxos, viagens, capacidade e utilização de veículos, algumas empresas (*software houses*) começam a destacar também os benefícios ambientais decorrentes de seu uso.

Neste sentido, empresas de transporte podem se beneficiar de softwares de roteirização para combinar rotas de transporte (diminuindo a quilometragem rodada) e minimizar a capacidade ociosa do veículo (aumentando a quantidade transportada). Consequentemente, deve haver

uma redução das emissões de CO₂ decorrentes destas ações.

1.2.3. Gestão da capacidade de transporte

Aumentar a capacidade de transporte pode resultar em eficiência energética, desde que a quantidade de combustível consumida para transportar uma unidade de carga se reduza. Se isso é observado, há ganhos diretos também com relação às emissões de CO₂. Apesar de, possivelmente, ser verificado um aumento das emissões totais por viagem, o importante é que o volume emitido para transportar uma unidade de carga tenha se reduzido, refletindo um ganho de produtividade.

Dentre as possibilidades para aumentar a capacidade de transporte, encontram-se:

- Novas composições de veículos de transporte: utilização de veículos maiores
- Redução do peso do veículo: resultante da redução na tara das composições

1.2.4. Gestão da idade da frota / renovação

Caminhões antigos precisam de maior manutenção, possuem tecnologias obsoletas, oferecem riscos à segurança, consomem mais combustíveis e poluem mais. Estimativas indicam que os veículos novos, com tecnologia desenvolvida, cheguem a emitir entre 80% e 90% menos poluentes do que aqueles fabricados até 1993 (CNT, 2010).

No Brasil, o CONAMA estabelece, através do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, limites de emissão de poluentes para veículos pesados novos. Os limites definidos no PROCONVE acompanham, com certa defasagem temporal, as determinações da regulamentação européia. Com isso, claramente há uma diferença de níveis de emissão entre veículos de idades diferentes, já que os limites se tornam mais restritivos com o passar do tempo.

Desde 2006, está em vigor a fase P-5 do Proconve, evidenciado pela Tabela 1. A fase P-6 não foi implementada em 2009, devido a problemas de disponibilidade do diesel adequado. Assim, ainda vigora a fase P-5 e, em 2012, prevê-se a implementação de P-7 (que equivale à Euro 5).

Tabela 1 - Datas de implantação dos novos limites de emissões para veículos pesados¹

Data	Fase do PRECONOVE	Aplicação
Jan – 04	P – 5	100% ônibus urbanos ou 60% ônibus urbanos ²
Jan – 05	P – 5	100% microônibus 100% ônibus urbanos ³ 40% demais veículos ou 60% demais veículos ³
Jan – 06	P – 5	100% demais veículos
Jan – 09	P – 6 (4)	Todos os veículos
Jan – 12	P – 7 (5)	Todos os veículos

Fonte: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/emissoes/proconve2.asp>.

Notas:

¹ Conforme a Resolução CONAMA nº 315/02. “P” = veículos pesados.

² O fabricante poderá optar por 60% desta data, a ser integralizado em jan/05 e, neste caso, deverá atender com 60% dos demais veículos em jan/05.

³ No caso de opção 2.

⁴ Fase não implantada por problemas de disponibilidade nacional do óleo diesel adequado a essa fase. Os limites da fase P7 irão recuperar os ganhos ambientais da fase P6.

⁵ Conforme a Resolução CONAMA nº 403/08.

Apesar de suas limitações dizerem respeito a outros gases (poluentes locais), o Art. 3º do da Resolução CONAMA nº 403/2008, que regulamenta a fase P-7, determina que “fabricantes e importadores de motores do ciclo Diesel ou de veículos a Diesel destinados ao mercado nacional devem apresentar ao IBAMA, até 31 de dezembro de 2012, relatório de valores típicos das emissões de dióxido de carbono e de aldeídos totais, bem como do consumo específico de combustível, medidos nos ensaios de Ciclo de Regime Transiente (ETC) e Ciclo de Regime Constante (ESC) e expressos em g/kWh”. Com isso, tais valores começarão a ser mensurados e conhecidos.

1.3. Tecnologia em Veículos e Acessórios

Segundo OECD/IEA (2001), há algumas alternativas tecnológicas custo-eficientes que podem ser empregadas para economizar combustível e, conseqüentemente, reduzir as emissões de GEE. Uma economia máxima de combustível é atingida através da minimização dos requerimentos de energia de propulsão ou através da maximização da eficiência do motor.

Algumas possibilidades para reduzir a necessidade de energia incluem:

- Redução no peso do veículo
- Melhoria na aerodinâmica do caminhão
- Melhoria na eficiência do motor
- Redução na resistência dos pneus

1.3.1. Redução no peso do veículo

A necessidade de energia está diretamente relacionada ao peso transportado. Assim, mantendo o PBTC, uma redução da tara permite ganhos em termos de capacidade de carga a ser transportada. Com isso, aumenta-se a produtividade e a eficiência do transporte, já que, com o mesmo nível de consumo, é possível transportar mais. O mesmo vale para as emissões: a

redução da tara possibilita um menor nível de emissão por unidade transportada.

O peso do veículo pode ser reduzido através uso de materiais mais leves tanto no cavalo quanto no implemento, como alumínio e plástico, por exemplo. além disso, a US EPA (2004c) indica outros componentes que podem ajudar a reduzir a tara do veículo para os casos dos países da OCDE:

- Rodas de liga leve podem poupar até 40 libras cada;
- Eixo de alumínio pode economizar mais de 120 libras em relação ao de ferro ou aço;
- Tambores de freio Centrifuse podem economizar cerca de 100 libras em relação ao padrão de tambores de freio;
- Caixa de embreagem de alumínio pode economizar 50 libras em relação ao ferro carcaça de embreagem;
- Frames de alumínio da cabine podem salvar centenas de libras em comparação a quadros de aço padrão;
- Motores mais leves, podem economizar mais de 700 libras;
- Reboques mais leves podem reduzir 2000 libras.

Há fabricantes de caminhões que oferecem modelos cerca de 1000 kg mais leve do que modelos comparáveis. Sugere-se, então, avaliar uma combinação entre diferentes composições, buscando minimizar a tara do veículo.

1.3.2 Melhoria na aerodinâmica do caminhão

O arraste aerodinâmico (resistência ao vento) é responsável por perdas de energia e velocidade ao longo da rodovia. Reduzir o arrasto melhora a eficiência energética. Os fabricantes fizeram progressos significativos ao longo das últimas duas décadas em reduzir o coeficiente de arrasto de um caminhão. Essa diminuição no coeficiente de arrasto tem um impacto significativo na economia de combustível. Por exemplo, uma redução de 25% no coeficiente de arraste, provoca uma economia de combustível de até 15% (US EPA, 2004).

O desenho da cabine, bem como acessórios específicos (como defletores de ar de teto e laterais) podem ajudar a reduzir o atrito e, conseqüentemente, a energia necessária para mover o veículo. A redução da área frontal é outro exemplo de alteração que pode contribuir para diminuir o consumo de combustível.

As montadoras possuem itens que podem ser acoplados às cabines com este intuito. Seria interessante verificar, diretamente com elas, quais as possibilidades existentes, bem como os resultados alcançados a partir de sua utilização. A US EPA (2004) afirma que, na maioria dos casos, o custo para adquirir os aparelhos são remunerados pela economia de combustível.

1.3.3 Melhoria na eficiência do motor

A OECD/IEA (2001) também indica a adoção de sistemas de transmissão eletrônica para aumentar a eficiência do motor. Paralelamente, o uso de lubrificantes avançados e óleos sintéticos pode contribuir para a redução do atrito no motor. Em ambos os casos, a

necessidade de energia e, conseqüentemente, as emissões, acabam sendo menores.

Os lubrificantes de baixa viscosidade reduzem perda, economizando combustível e reduzindo as emissões. Segundo a US EPA (2004b), substituir os lubrificantes da transmissão convencional de produtos de baixa viscosidade economiza combustível com pouco ou nenhum custo adicional. O efeito combinado da baixa viscosidade dos óleos sintéticos e lubrificantes de motores pode gerar uma economia de combustível de cerca de 3% a 5%, com os maiores ganhos observados em menores velocidades, economizando cerca de 500 galões de combustível e eliminando cinco toneladas métricas de emissões de GEE por ano, para um caminhão de cargas (US EPA, 2004b).

1.3.4 Redução na resistência dos pneus

Uma outra alternativa para reduzir o consumo de combustível é minimizar o impacto das forças que se opõem ao deslocamento do veículo (a chamada resistência ao rolamento), tais como: gravidade, resistência ao ar, fricções mecânicas, inércia, pressão dos pneus/carga dos eixos, design do piso, composição da borracha, entre outros.

De acordo com a US EPA (2004c) os pneus são responsáveis por quase 13% do consumo de energia do caminhão. Já para a IEA (2005), citada por IEA (2010), cerca de 20% do consumo do combustível do veículo é destinado a superar a resistência dos pneus. Segundo esta fonte, a resistência ao rolamento é função principalmente do nível de calibragem do pneu, bem como do material constituinte do pneu.

Assim, quando os pneus estão mais vazios, há maior necessidade de combustível para vencer esta resistência. Conseqüentemente, para cada 0,5 bar a menos que o nível de calibragem ideal, há um aumento de 1% nas emissões de CO₂ (IEA, 2010).

Conforme dados da Michelin, a resistência à rodagem dos pneus seria maior ainda, sendo responsável por 30% do consumo de combustível de um caminhão. Ou seja, a cada 3 tanques de combustível, um é consumido pelos pneus do caminhão.

Pneus com baixa resistência ao rolamento já são disponíveis para a maioria dos veículos de passageiros, e podem reduzir a quantidade de combustível necessária em aproximadamente 6%. Uma redução de 10% na resistência ao rolamento aumenta a economia de combustível em torno de 1,5% na cidade e 2,1% na estrada (Transportation Research Board, 2006).

A US EPA (2004c) sugere o uso de pneus de base larga, os quais podem melhorar a economia de combustível em 2% ou mais em relação aos equivalentes pneus duplos. Ao utilizar este tipo de pneu, um caminhão pode reduzir emissões de GEE em mais de 4 toneladas por ano.

As grandes fabricantes de pneus, como a Michelin, Goodyear e Continental, oferecem pneus com baixa resistência ao rolamento também para veículos pesados.

2. METODOLOGIA

Para realizar os cálculos das emissões e as estimativas do potencial de mitigação, foi adotada a Metodologia de linha de base e monitoramento aprovada pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) denominada “AM0090 - Modal shift in transportation of cargo from road transportation to water or rail transportation”.

Apesar de a metodologia ser aplicada, no caso da elaboração de projetos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), para atividades que envolvam a mudança do transporte de cargas do modal rodoviário para o ferroviário ou aquaviário, ela foi adaptada e adotada como base para os cálculos das emissões de CO₂ neste estudo.

Os dados necessários para a realização do estudo foram coletados junto a algumas transportadoras de carga.

Os procedimentos metodológicos são apresentados a seguir.

2.1. Estimativa das emissões de GEE

A metodologia adotada preocupa-se com o cálculo do CO₂, principal fonte de emissão dos transportes. Outros gases de efeito estufa são desconsiderados, conforme ilustra a Tabela 2.

Tabela 2 - Tipos de gases de efeito estufa – GEE considerados nas estimativas de emissões

GEE	Estimativa na emissão de GEE	Justificativa
CO ₂	Sim	Principal fonte de emissão
CH ₄	Não	Geralmente são excluídos dos cálculos, já que são inexpressivos.
N ₂ O		

Fonte: UNFCCC. Approved baseline and monitoring methodology AM0090. 2010.

Para as estimativas de emissão de GEE no modal rodoviário, a mesma metodologia sugere a seguinte sequência de cálculo:

2.1.1. Estimativa de Emissões de Linha de Base

$$BE_y = T_y \cdot AD \cdot EF_{BL} \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

Onde:

BE_y = Emissões de linha de base no ano y (tCO₂);

T_y = quantidade de carga transportada pelo modal de transporte rodoviário no ano y (toneladas);

AD = Distância percorrida (km);

EF_{BL} = Fator de emissão de linha de base para o transporte de carga (g CO₂/t.km).

2.1.2. Estimativa do Fator de Emissão da Linha de Base

$$EF_{BL} = \frac{\sum_i FC_{BL,i,y} \cdot NCV_{i,y} \cdot EF_{CO_2,i,y} \cdot F_{RT,BL}}{T_y \cdot AD} \quad (2)$$

Onde:

EF_{BL} = Fator de emissão de linha de base para o transporte de carga (g CO₂/t.km);

$FC_{BL,i,x}$ = Quantidade do combustível i consumido pelos caminhões no ano y (litros ou m³);

$EF_{CO_2,i,x}$ = Fator de Emissão de CO₂ do combustível i consumido pelos caminhões no ano y (g CO₂/GJ);

$NCV_{i,x}$ = Valor do poder calorífico médio do combustível i consumido pelos caminhões no ano y (GJ por litro ou m³);

$F_{RT,BL}$ = Fator para viagens de retorno não-vazias no cenário de linha de base (fração);

T_x = Quantidade de carga transportada pelo modal de transporte rodoviário no ano y (toneladas);

AD = Distância percorrida (km);

Observação: se o combustível é misturado com bicomcombustível, o fator de emissão da mistura (%) deve ser calculado assumindo um fator de emissão igual a zero para o bicomcombustível.

2.1.3. Fator para viagens de retornos não-vazias no cenário linha de base

$$F_{RT,BL} = \frac{T_x \cdot AD}{T_x \cdot AD + T_{RT,x} \cdot RTD_x} \quad (3)$$

Onde:

$F_{RT,BL}$ = Fator para viagens de retorno não-vazias no cenário de linha de base (fração);

T_x = Quantidade de carga transportada pelo modal de transporte rodoviário no ano y (toneladas);

AD = Distância percorrida (km) ;

$T_{RT,x}$ = Quantidade de carga transportada em caminhões em viagem de retorno no ano y (toneladas) ;

RTD_x = Distância percorrida em viagens de retorno no ano y (km).

2.2. Pesquisa e Coleta de dados primários

Durante o ano de 2010, foi realizado levantamento de dados primários junto a uma série de transportadoras de carga líquida a granel, totalizando uma amostra de 145 veículos Os dados coletados dizem respeito a:

- Quantidade de carga transportada pelo modal de transporte rodoviário em 2009 (t);
- Distância percorrida em 2009 (km);
- Quantidade de diesel consumido pelos caminhões em 2009 (litros);
- Quantidade de carga transportada em caminhões em viagem de retorno em 2009 (t); e
- Distância percorrida em viagens de retorno em 2009 (km).

Informações sobre os fatores de emissão do diesel e do biodiesel foram obtidas a partir da literatura. A Tabela 3 sumariza os dados utilizados nas estimativas de emissão.

Tabela 3 - Valores dos Parâmetros utilizados no modelo

Parâmetro	Valor Assumido/detalhe	Fonte
Distância (km)	52.103.110	Informado pelas transportadoras
Quantidade transportada (t)	1.404.192.095	Informado pelas transportadoras
Consumo médio (km/l)	2,135 km/l	Obtido a partir da média do consumo informado pelas transportadoras
Viagem de retorno	1	Não há (informado pelas transportadoras)
Blend Biodiesel	B3	
Fatores de Emissão	Diesel: 2.750 g CO ₂ /litro	Bartholomeu, D.B. Tese de Doutorado
	Biodiesel: 2.499,06 g CO ₂ /litro	GHG Protocol

Fonte: Resultados da pesquisa, a partir de levantamento de dados primários e secundários.

3. Resultados e Considerações Finais

O modelo foi adotado para estimar as emissões de linha de base, ou seja, as emissões médias atuais segundo os dados informados pelas transportadoras contatadas. Além disso, foi também extrapolado para estimar potencial de mitigação resultante de incrementos na eficiência energética do veículo, isto é, de redução do consumo de combustível ou aumento do rendimento do veículo.

A Figura 1 ilustra os resultados obtidos, indicando que reduções no consumo médio de combustível levam a reduções das emissões totais e também das emissões por tonelada transportada.

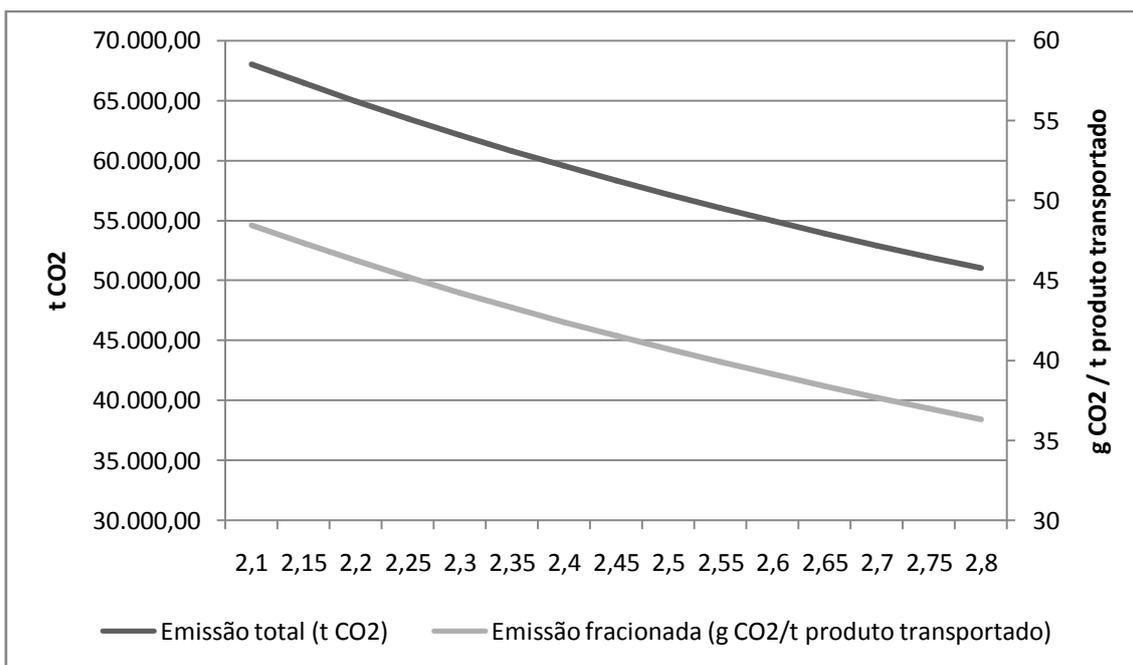


Figura 1 - Emissão de GEE em função da variação do consumo médio de combustível (km/l).
Fonte: Resultados da pesquisa.

Em termos quantitativos, um incremento de 10% na eficiência energética da frota rodoviária estudada em relação aos níveis médios atuais (2,135 km/l), resulta numa redução de 9,6% nas emissões de CO₂. Isso significa que se forem adotadas medidas que resultem numa redução no consumo médio de combustível da ordem de 0,5 km/l, por exemplo, as emissões de GEE resultantes devem cair 19,23%.

Neste sentido, diversas ações que possuem o objetivo de reduzir consumo de combustível resultam na redução da emissão de GEE, tais como as citadas na Tabela 4 e discutidas anteriormente, na Introdução.

Tabela 4 - Grupo de ações visando a redução do consumo de combustível

Grupo de Ação	Ação
1. AUMENTO DA EFICIÊNCIA NA DIREÇÃO	<i>Manutenção preventiva</i>
	<i>Treinamento de motoristas e Operação ajustada ao veículo</i>
2. SISTEMAS DE GESTÃO	<i>Tecnologias "on-board"</i>
	<i>Sistemas de roteirização</i>
	<i>Gestão da capacidade de transporte</i>
3. TECNOLOGIA EM VEÍCULOS E ACESSÓRIOS	<i>Gestão da idade da frota / Renovação</i>
	<i>Redução no peso do veículo</i>
	<i>Melhoria na aerodinâmica do caminhão</i>
	<i>Melhoria na eficiência do motor</i>
	<i>Redução na resistência dos pneus</i>

Fonte: Resultados da pesquisa

Tais ações que visam à redução do consumo de combustível podem ser implementadas de imediato e/ou no curto-prazo, pois são medidas relativamente simples, disponíveis no

mercado e com resultados já comprovados.

Desta forma, ao adotar tais medidas, além do benefício econômico resultante da economia de combustível, o setor de transportes de carga também estará aumentando sua produtividade e contribuindo para mitigar as emissões de CO₂.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTHOLOMEU, D.B. **Quantificação dos Impactos Econômicos e Ambientais decorrentes do Estado de Conservação das rodovias brasileiras**. Doutor em Ciências: Economia Aplicada. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, nov. 2006.

CNT – Confederação nacional do transporte. **Frota antiga de caminhões no país requer solução urgente** Notícia de 16/8/2010. Disponível em: <http://www.cntdespoluir.org.br:9002/lists/contedos/dispsform.aspx?id=2658&source=http://www.cntdespoluir.org.br:9002/lists/contedos/allitems.aspx?view%3d%257bc7f6413f%252d4f5f%252d4846%252dbc0b%252d6fed410e6b32%257d%26folderctid%3d0x012001%26groupstring%3d%25253b%252523not%2525c3%2525adcia%25253b%252523%26drilldown%3d1>. Acesso em: nov.2010.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Fases do PRECONOVE**. Acessado em 10/11/2010. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/emissoes/proconve2.asp>.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 403, de 11 de novembro de 2008**. Dispõe sobre a nova fase de exigência do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores–PROCONVE para veículos pesados novos (Fase P-7) e dá outras providências.

DENATRAN - DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Portaria nº 86, de 20 de dezembro de 2006**. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/sistema-de-gerenciamento-de-autorizacao-especial-de-transito-siaet/siaet> . Acesso em: nov.2010.

DNIT. **Quadro de Fabricantes de Veículos**. Out. 2009.

IEA - International Energy Agency. **Transport Energy Efficiency: Implementation of IEA Recommendations since 2009 and next steps**. Paris: 2010. 60p.

IEA - International Energy Agency; OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. **Saving Oil and Reducing CO₂ Emissions in Transport: Options and Strategies**. Paris: 2001.

IEA - International Energy Agency; OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. **Transport, energy and CO₂: moving toward sustainability**. Executive summary. 2009. 400p.

UNFCCC. AM0090 - Modal shift in transportation of cargo from road transportation to water or rail transportation. Versão 01, set.2010.

YOSHIZAKI, H. **Infraestrutura e Tecnologias**. Escola Politécnica da USP. II Fórum de Sustentabilidade em Transporte WalMart. 18 ago.2010.

Email de contato dos autores

¹ Av. Pádua Dias, 11. CEP: 13.418-900. Piracicaba/SP

Fone: 19 3429-4580

dbbartho@esalq.usp.br

² thiago.pera@usp.br

³ jvcaixet@esalq.usp.br