



REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA NO BRASIL

Leticia Cestari Hidalgo da Silva Campos¹
Claudio Barbieri da Cunha¹
Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki¹
*Vanessa Meloni Massara¹

ROAD TRANSPORT CARGO IN BRAZIL

Recibido el 7 de diciembre de 2011; Aceptado el 5 de diciembre de 2012

Abstract

This paper shows the result of a simulation done on the route Três Lagoas (State of Mato Grosso) to Pederneiras (State of São Paulo) to calculate emissions of greenhouse gases emissions (GHG) in freight road transportation using the program Artemis. This simulation is part of a project to create a model that adapts the conditions in Brazil. In conclusion the current state of research, it is considered that the Artemis is based on consistent and important factors, but adaptation is essential to Brazil. It was observed that among several important aspects in the issue, are the quality of the road, the vehicle, being that, as older, without maintenance and more congested is the traffic, higher as the pollution.

Key Words: Road Transport, GHG Emissions, Artemis Model, Três Lagoas (Mato Grosso), Pederneiras (São Paulo).

¹ Centro de Inovação em Sistemas Logísticos (CISLOG), Engenharia de Sistemas Logísticos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil

*Autor correspondente: Rua Piauí, 1017 – apto. 32. São Caetano do Sul – São Paulo, Brasil. CEP 09541-150.
Email: vanessa.massara@gmail.com

Resumo

O presente artigo mostra o resultado de uma simulação feita no trajeto Três Lagoas (Estado de Mato Grosso) à Pederneiras (Estado de São Paulo) para cálculo das emissões dos gases de efeito estufa (GEE) no modal rodoviário utilizando o programa Artemis. Essa simulação é parte de um projeto que visa criar um modelo que se adapte as condições brasileiras. Como conclusão do estágio atual da pesquisa, considera-se que o Artemis tem base em importantes e coerentes parâmetros, porém é imprescindível sua adaptação ao Brasil. Também verificou-se que, entre vários aspectos importantes na emissão, estão a qualidade da estrada, do veículo, sendo que, quanto mais antigo e sem manutenção, e também, quanto mais congestionado o trânsito maior é a poluição.

Palavras chave: Transporte Rodoviário, Emissões de GEE, Modelo Artemis, Três Lagoas (Mato Grosso), Pederneiras (São Paulo).

Introdução

O transporte rodoviário é hoje a principal modalidade de transporte para a movimentação de cargas no país, normalmente oferecida por donos de caminhões independentes, sem a capacidade de fornecer serviços centralizados para grandes volumes de carga. A idade elevada da frota brasileira, especialmente de veículos autônomos, contribui para uma redução da produtividade e um consumo mais elevado de óleo diesel (CNT, 2011).

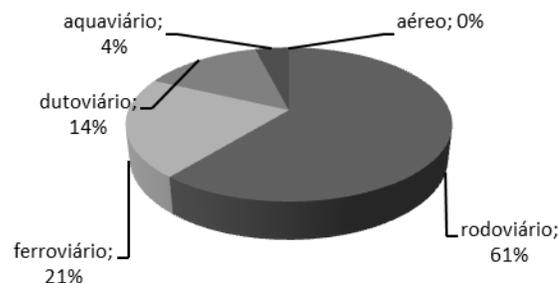


Figura 1. Matriz do Transporte de Cargas no Brasil. Fonte: MMA, 2011

A figura 1, mostra a atual distribuição da infraestrutura, definida basicamente por uma extensa matriz rodoviária de manutenção precária e por sistemas limitados de transporte ferroviário, aquaviário, dutoviário e aéreo, o que não se mostra adequado para um país com as dimensões e potencialidades do Brasil.

O setor de transporte rodoviário no país é disperso, com aproximadamente 46 mil empresas, sendo 95% de pequeno e médio porte. Existem ainda os transportadores autônomos que somam cerca de 310 mil e atuam prestando serviços para transportadoras ou, diretamente, para empresas privadas diversas. A frota nacional de caminhões é estimada em 1.85 milhão de unidades (CNT, 2011).

De acordo com a Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2011), motoristas autônomos controlam 56.6% de toda a frota de caminhões, e são responsáveis pelo transporte da maior parte das cargas no Brasil. Ainda de acordo com a CNT (2011), a idade média dos veículos de carga chega a 14.7 anos, sendo que a média de idade dos veículos de autônomos está em 19 anos, os veículos das empresas estão com 9 anos, e os veículos das cooperativas com 11 anos.

A malha rodoviária brasileira é distribuída em diferentes esferas governamentais (tabela 1) e tem atualmente uma extensão de 1.580.809 km, com apenas 212.618 km de pistas pavimentadas (13.4% do total). A concessão privada é mantida, por pedágios, resultando em pavimentação de toda a extensão.

Tabela 1. Jurisdição e extensão das rodovias pavimentadas no país. Fonte: CNT, 2011

Jurisdição	Extensão (km)	Extensão Privada (km)
Federal	61.961	
Estadual	123.830	15.816
Municipal	26.827	

Nota: a extensão privada é computada em separado (ou seja, 212.618= extensão + extensão privada)

A importância sócio-econômica e estratégica para o desenvolvimento regional definem as prioridades na implantação da infraestrutura. As Regiões Sul e Sudeste, devido ao grande parque industrial e agrícola, à intensa urbanização e às condições favoráveis ao desenvolvimento, concentram uma significativa quantidade de rodovias, amplamente utilizadas para o escoamento da produção.

Segundo a Confederação Nacional dos Transportes (2011) há linearidade no volume de carga movimentado pelas rodovias, contudo o crescente volume de veículos gerando engarrafamentos (muitas vezes com carregamentos perecíveis), a má condição de sinalização e manutenção das estradas, a falta de segurança (maior ocorrência de roubos por modal) e a falta de integração com outras formas de transporte, são déficits que contribuem para o precário emprego das vias nacionais e para um menor índice de qualidade do serviço.

O transporte rodoviário de carga responde por 92% do consumo energético de todo o setor, devido ao pequeno destaque dado ao potencial fluvial em combinação com as ferrovias. Na tabela 2 é possível verificar a produtividade de cada modal, ou seja, quantos litros são necessários para transportar 1.000 tKu.

Tabela 2. Consumo energético por modais no transporte de carga brasileiro. Fonte: MMA, 2011

Consumo de energia por modal do setor de transportes 2009	%	l/1000tKu
Rodoviário	92.2	96
Ferroviário	1.09	10
Aéreo	4.59	8
Hidroviário	2.12	5

Nota: a unidade tKu significa tonelada útil transportada / km

Em países como o Brasil a diminuição das emissões pode ganhar impulso devido ao consumo de combustíveis renováveis (principalmente o etanol), enquanto os países europeus utilizam maior grau de tecnologia para melhorar motores e equipamentos, combinado com especificações legais mais rígidas para reduzir as emissões dos derivados do petróleo e para o alcance da eficiência dos veículos. A figura 3 apresenta as emissões de CO₂ no Brasil separadas por atividade e dentro de transportes, por modal.

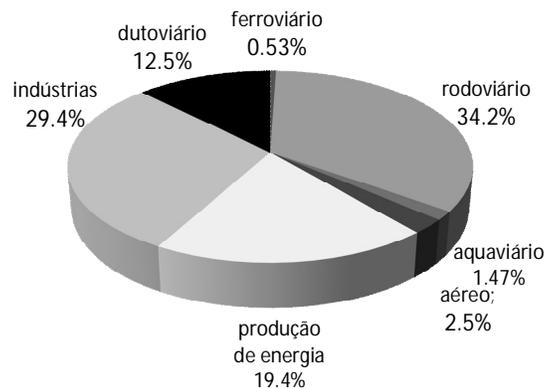


Figura 3. Emissões de CO₂ no setor de transportes brasileiro. Fonte: MMA, 2011

No país, o setor de transportes ocupa a segunda posição na emissão de GEE, com 23%, estando atrás apenas das mudanças de usos do solo (que inclui emissões nas barragens) somada com a agropecuária que, devido às queimadas, somam 75% das emissões, segundo dados do inventário de emissões, elaborado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MMA, 2011).

Métodos para a determinação de emissões dos gases de efeito estufa

Para as metodologias de cálculo das emissões de GEE (IPCC, 2006), o levantamento inicial foi feito através de artigos científicos sobre os principais métodos usados no Mundo e seus diversos parâmetros (Cunha *et al*, 2010).

O artigo base estudado (Demir *et al*, 2011) mostra uma comparação entre seis modelos que calculam emissão dos gases do efeito estufa, são eles:

- Bowyer *et al* (1986):
 - *Instantaneous fuel consumption model*
 - *Four-mode elemental fuel consumption model*
 - *A running speed fuel consumption model*

- Barth *et al* (2004):
 - *A comprehensive modal emission model (CMEM)*

- Hickman *et al* (1999):
 - *Methodology for calculating transportation emissions and energy consumption*

- Ntziachristos e Samaras (2000):
 - *Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transportation (COPERT) model.*

Todos esses modelos calculam as emissões diretamente através do consumo de combustível, mas não permitem a entrada de coeficientes relevantes para diferenciar a sua utilização na Europa e no Brasil.

O modelo selecionado para base de adaptação às necessidades brasileiras é o Artemis (Keller e Kljun, 2007), que permite a inserção de características individuais do veículo e da rodovia, propiciando a avaliação em separado de cada fator e sua influência no valor obtido para cada poluente.

Metodologia - O modelo ARTEMIS Road Model

A concepção desse modelo envolveu 40 laboratórios de pesquisa europeus num projeto fundado pela *European Commission within The 5th Framework Research Programme* (Keller e Kljun, 2007) e foi orçado em cerca de nove milhões de euros. Teve como objetivo melhorar e desenvolver ferramentas para criação de inventários de estimativas de emissão de poluentes, na Europa.

O modelo é constituído basicamente por um banco de dados de fatores de emissão. Além disso, ele fornece uma série de procedimentos para calcular emissões de gases e outros poluentes. No entanto, para realizar esse cálculo por meio desse modelo, é necessário ter informações muito específicas sobre as vias e sobre as situações de tráfego:

- Banco de dados de fatores de emissão: os fatores de emissão são fornecidos em gramas de poluente emitido por quilômetro rodado. São dados baseados em medidas de emissões realizadas ao longo do projeto ARTEMIS e também em informações provenientes dos países europeus;
- Modelo de frota: isso permite ao usuário configurar uma composição de frota para um determinado país, cujos dados se encontram em bando de dados, por um ou vários anos;
- Módulo de fator de emissão: devido a esse módulo, existe a possibilidade de calcular fatores de emissão ponderados de acordo com a situação do tráfego e com a composição da frota.
- Modelo de emissões: esse modelo calcula as emissões totais (outputs) para um país ou para uma região ou para uma cidade, dependendo do que o usuário especificar.

A ferramenta apresenta fatores de emissão para a maioria dos poluentes regulamentados (CO, HC, NO_x, PM, Pb, SO₂) e não regulamentados (CO₂, metano, amônia, benzeno, entre outros), além de estimar o consumo de combustível. O cálculo se baseia em uma classificação detalhada dos veículos em famílias (*light-duty vehicles, motorcycles, heavy duty vehicles*), categorias (*cars, light commercial vehicles, buses, coaches, heavy goods vehicles*), subcategorias (*rigid-, articulated and truck and trailers*). As categorias de veículos são quebradas em segmentos por tecnologia e tamanho (por exemplo, petróleo, diesel, híbridos, entre outros). Esses segmentos são combinados com conceitos de emissão (pré-Euro, Euro1 até Euro5).

O cálculo de emissões ao nível de vias (*street level*) utiliza a definição de “situação de tráfego” (*traffic situations*). Um modelo de situação de tráfego foi derivado da análise de classificações existentes de vias. Este modelo divide a condição de tráfego em quatro estágios:

- *free-flow traffic* (velocidades de 85-100% do limite);
- *heavy traffic* (restrições de velocidade de 65-85% do limite);
- *unsteady saturated traffic* (velocidade variável com possíveis paradas, 30 a 60% do limite);
- *stop-and-go* (velocidade por volta de 10 km/h).

O princípio do modelo ARTEMIS é uma matriz de condições de funcionamento descritas por velocidades e acelerações. Assim, uma vez que as características do veículo e do trajeto são conhecidas, calcula-se as forças que atuam sobre o motor; com isso têm-se a energia e a potência requerida que, inseridas no Artemis originam o consumo de energia e, por

consequente, a estimativa da emissão por poluentes. A figura 4 mostra um esquema de seu funcionamento.

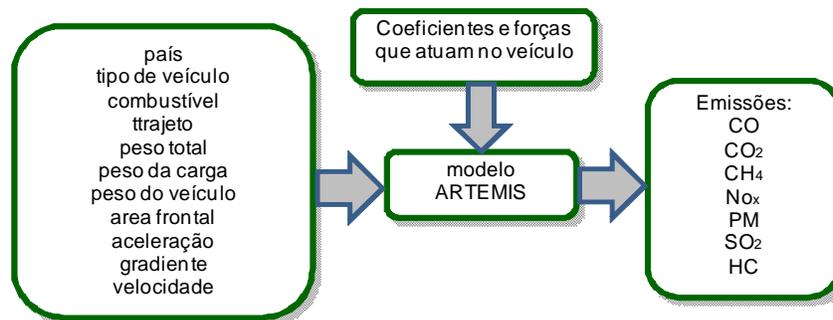


Figura 4. Diagrama simplificado do modelo. Fonte: Autores a partir de ARTEMIS (Keller e Kljun, 2007)

A figura 5 resume as forças que atuam no veículo, os cálculos necessários e a resultante emissão obtida pelo consumo de combustível.

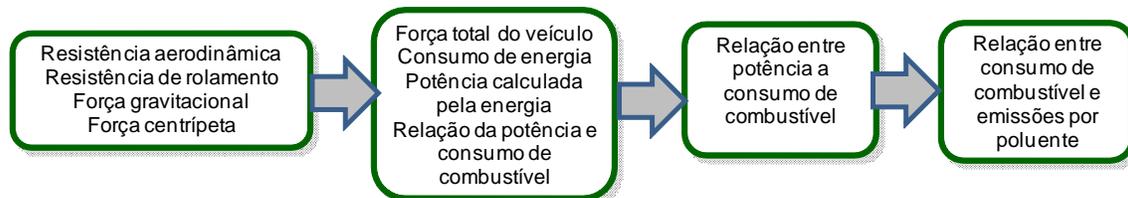


Figura 5. Forças e cálculos exigidos para a determinação das emissões pelo programa ARTEMIS. Fonte: Autores a partir de ARTEMIS (Keller e Kljun, 2007)

Simulação

Neste módulo faz-se necessário definir entradas da simulação, com as quais a ferramenta fornece o fator de emissão mais adequado. Neste estudo preliminar, foram utilizadas as informações descritas na tabela 3.

Cabe ressaltar que o conceito “EURO 3” diz respeito às metas de redução de emissões por veículos automotores introduzida pela União Européia. A tabela 4 relaciona o Programa EURO ao Programa de mesmo fim intitulado Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores -PROCONVE, criado pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. (MMA, 2006).

Tabela 3. Simulação do trajeto Pederneiras (São Paulo) - Três Lagoas (Mato Grosso)

Veículo	Trajeto
Combustível: Diesel EURO3	Pederneiras - Três Lagoas
Mercedes L-1620 (Mercedes Benz, 2011)	Distância: 333.3km
Ano: 2010	Gradiente: 0/100m
Peso total: 22t	Coefficiente Arrasto = 3
Carga: 3t	Tração= 20%
Peso Total: 2 t	
Área Frontal: 5m ²	

Tabela 4. Programas para limites de emissão em veículos pesados EURO e PROCONVE. Fonte: MMA, 2006

EURO		PROCONVE	
		P1	1989
		P2	1994
Euro 1	jul/92	P3	1996
Euro 2	jan/96	P4	2000
Euro 3	jan/00	P5	2006
Euro 4	jan/05	P6*	2009
Euro 5	set/09	P7	2012
Euro 6	set/14		

Classificação da via

É possível fazer uma relação entre fotos fornecidas pelo modelo e a rodovia do estudo de caso. A figura 6 mostra, à esquerda, a classificação de uma via do tipo "Trunk Road". À direita a Rodovia Marechal Rondon, utilizada na simulação.



Figura 6. Classificação da via de simulação para o modelo ARTEMIS. Fonte: ARTEMIS, 2010; CNT, 2011

Análise dos Resultados

As definições e classificações apresentadas nos itens anteriores serviram de entrada para a ferramenta do ARTEMIS. Foram calculados fatores de emissão para dois poluentes: CO₂ e NO_x. A tabela 5 apresenta os fatores de emissão para ambos os poluentes em gramas por quilômetro.

Tabela 5. Emissão de CO₂ e Nox da simulação do ARTEMIS. Fonte: Artemis, 2010

Condição do Tráfego	FATORES (g/km)		EMISSÃO (g)	
	CO ₂	NO _x	CO ₂	NO _x
FreeFlow	627.3916	5.83337	209128.4	1944,438
Saturated	670.82025	5.94467	223604.5	1981.538
Heavy	73.5813	6.59646	244858	2198.797
Stop and Go	1844.8556	19.514	614945.7	6504.598

As figuras 7 e 8 apresentam a emissão de cada poluente para cada condição de tráfego, mostrando que o trânsito engarrafado constitui a fase de maior emissão de poluentes.

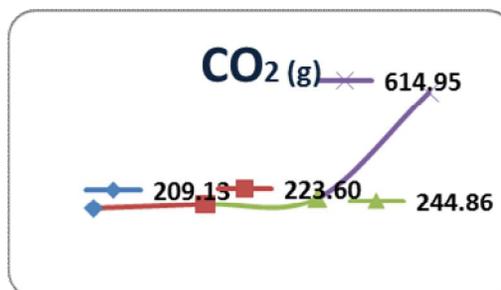


Figura 7: Emissão de CO₂ da simulação do Modelo ARTEMIS

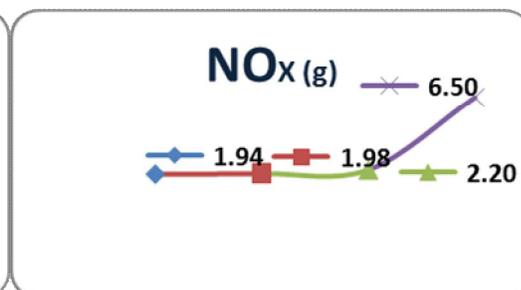


Figura 8: Emissão de NO_x da simulação do Modelo ARTEMIS

Através desta primeira fase conclui-se que para a criação de um modelo brasileiro será necessário:

- Comparar as tecnologias dos motores e combustão da Europa e do Brasil
- Considerar a inserção da fase P7 do PROCONVE e dos sistemas de redução catalítica seletiva (SCR - Selective Catalytic Reduction) para o escape de gases; e do sistema de recirculação de gases de escapamento (EGR - Exhaust Gas Recirculation) como opção ao sistema SCR, bem como a utilização do diesel S-50
- O porte, tipo de uso, idade do veículo
- A eficiência do combustível (km/litros)

Relacionados a fatores externos:

- Condições de operação (velocidade, frequência, intensidade de acelerações)
- Condição operacional (para-anda)
- Fator de carregamento (ton/veículo)
- Fatores meteorológicos (pressão e temperatura ambientes)
- Condições do percurso que neste estudo foram simplificadas (força centrípeta; topografia; atrito; velocidade do vento)

Conclusões

A pesquisa que deu origem a este artigo buscou a simulação e análise de modelos que pudessem ser utilizados para um futuro modelo adaptado ao caso brasileiro (Yoshizaki *et al*, 2010).

Por meio de estudo da literatura existente, foi possível obter informações sobre emissões de GEE para os transportes rodoviários dependendo do tipo de via e tráfego. Um fato importante a se destacar, é que ainda não há um consenso entre estudiosos do tema, sobre qual o melhor método para se quantificar emissões por transportes rodoviários.

O modelo ARTEMIS (Keller e Kljun, 2007), por sua vez, permite o cálculo de emissões de GEE de forma desagregada. Ou seja, ele fornece fatores de emissão correspondentes a diversas categorias de veículos e a diferentes cenários de tráfego. Entretanto, esse modelo, por se tratar de um banco de dados que foi inventariado basicamente para caracterizar as emissões de acordo com a realidade da Europa, pode vir a ser inadequado para estimar emissões no modal rodoviário de carga brasileiro. Para validar a sua utilização (ou da maioria de seus parâmetros), será necessária uma comparação com a emissão real dos combustíveis queimados a partir de equipamentos de medição com auxílio de medições intermediárias do trajeto através de GPS e das regras do PROCONVE. O projeto ainda se encontra em andamento.

Agradecimentos. Os autores agradecem ao CNPq- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

Referencias Bibliográficas

- ARTEMIS (2010). Programa para cálculo de emissões. Versão gratuita (Excel)
- Barth, M., Younglove, T., Scora, G. (2004) *Development of a Heavy-Duty Diesel Modal Emissions and Fuel Consumption Model*, PATH Research Report, University of California, 123pp.

- Bowyer, D.P., Akcelik, R., Biggs, D.C. (1986) Guide to fuel consumption analysis and urban traffic management, *ITE Journal*, 56 (12), 31-34.
- Confederação Nacional do Transporte - CNT. (2011) Plano CNT de Transporte e Logística, Brasília, 376pp.
- Cunha, C.B. Yoshizaki, H.T.Y., Almeida, F.V., Massara, V.M. (2010) *Estudo Comparativo de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Decisões de Intermodalidade para Logística nos Principais Corredores de Carga do País*, Brasília, 21pp.
- Demir, E., Bektas, T., Laporte, G. A. (2011) A comparative analysis of several vehicle emission models for road freight transportation, *Transportation Research Part D*, **16**(5), 347–357. (doi:10.1016/j.trb.2011.02.004).
- Hickman, J., Hassel, D., Joumard, R., Samaras, Z., Sorenson, S. (1999) MEET: Methodology for calculating transport emissions and energy consumption, *Belgium, Commission of the European Communities*, 362pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. (2006) *IPCC Guidelines*, Japan, disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.jp>>, acesso em 12/02/2011.
- Keller, M., Kljun, N. (2007) *Artemis: Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems Road Emission Model – User Guide and excel free version*, Switzerland, European Commission, 167pp.
- Mercedes Benz. *Caminhões*. Disponível em: <<http://www.mercedes-benz.com.br/>>, acesso em 22/08/2011.
- Ministério do Meio Ambiente – MMA (2006) *Índice de Fumaça em Aceleração Livre e Limite de Ruído Emitido na Condição Parado - Controle da Poluição do Ar por veículos Automotores. PROCONVE*, Brasília, 8pp.
- Ministério do Meio Ambiente – MMA (2011) *1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por veículos automotores rodoviários- Sumário Executivo*, Brasília, 14pp.
- Ntziachristos, L., Samaras, Z. (2000) Characterization of Exhaust Particles from Diesel and Gasoline Vehicles of Different Emission Control Technologies, in Proceedings paper on International Conference - *21st Century Emissions Technology IMechE International Conference*, 04 to 05 of december, London, 4-6.
- Yoshizaki, H.T.Y. Almeida, F.V., Massara, V.M. (2010) *Decisões de Intermodalidade para Projeto de Redes Logísticas considerando reduzir a Emissão de Gases de Efeito Estufa através de Modelos de Otimização com Múltiplos Critérios*, Brasília, 23pp.