



POTENCIAL DE REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA ATRAVÉS DE INTERMODALIDADE NO CORREDOR DE CARGA GERAL MANAUS-SANTOS

Patrícia Faias Laranjeiro de Andrade

Ana Luisa Watanabe Zacope

Arthur Martinez Pires

Claudio Barbieri da Cunha

Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-87893-17-8



9 788587 893178



POTENCIAL DE REDUÇÃO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA ATRAVÉS DE INTERMODALIDADE NO CORREDOR DE CARGA GERAL MANAUS-SANTOS

Patrícia Faias Laranjeiro de Andrade

Ana Luísa Watanabe Zancope

Arthur Martinez Pires

Claudio Barbieri da Cunha

Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki

Centro de Inovação em Sistemas Logísticos
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

RESUMO

O transporte aquaviário possui, de acordo com a literatura, um dos menores fatores emissão de gases de efeito estufa por carga transportada, devido principalmente, à sua alta capacidade de carga, superior a de um caminhão ou a de um trem. O Brasil apresenta uma costa muito extensa, favorecendo a cabotagem para o transporte de longa distância para grandes quantidades de carga, embora este modo tenha se mostrado expressivo apenas a partir de 1999 (Sampaio, 2006). A zona Franca de Manaus, um dos principais polos industriais brasileiros, tem sua produção industrial voltada majoritariamente para o mercado consumidor de São Paulo. Assim, este artigo tem como objetivo mensurar o potencial de redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE) para o corredor de carga geral containerizada Manaus – Santos, ao comparar a alternativa exclusivamente rodoviária à alternativa intermodal que utiliza a cabotagem como modo de transporte principal; além de indicar as principais etapas emissoras na cabotagem. Os principais resultados indicam que a cabotagem é uma opção mais interessante do ponto de vista energético e ambiental, uma vez que emite cerca de 11 vezes menos CO₂ (expresso em termos de t.km) que uma viagem realizada por rodovia.

ABSTRACT

The maritime transportation has, according to the literature, one of the lowest emission factors of greenhouse gases (GHG) by cargo carried, due mainly to its high load capacity, which is greater than a truck or a train. Since the Brazilian coast covers a large territory, cabotage is the ideal mode of transportation for bulk cargo between regions such as southeast and north. However, this mode has become more significant since 1999 (Sampaio, 2006). The free economic zone of Manaus, one of the main industrial centers in Brazil, has its production designated to São Paulo's consumers market. Thus, this article aims to measure the reduction potential of the GHG emission of the containerized general cargo transportation between Manaus and Santos, when comparing a road transportation mode with an intermodal alternative, which has cabotage as its main means of transportation. Besides this article displays the key pollutant stages of cabotage. The results show that cabotage is a better option, since its emissions are 11 times lower (in gCO₂/t.km) than the emissions in a road trip.

1.INTRODUÇÃO

O setor logístico brasileiro utiliza majoritariamente o modo rodoviário, sendo este responsável por 52% do transporte de carga em TKUs (tonelada-quilômetro útil) (Ministério dos Transportes, 2012). Existem diversas razões para esta elevada participação, sendo a principal delas o investimento público intensivo realizado em infraestrutura rodoviária, que, associado à facilidade do serviço porta-a-porta, promoveu o uso desse modo de transporte em larga escala, mesmo para longas distâncias. Todavia, do ponto de vista de operações sustentáveis, eficiência energética e emissão de GEE, o transporte rodoviário apresenta o pior desempenho de todos, com exceção do aeroviário (Guimarães et al, 2013). Dada a característica do mercado brasileiro de transporte de carga de longo curso, é fundamental estudar opções mais sustentáveis; e uma opção clara é o uso da intermodalidade, que alia a vantagem do transporte porta-a-porta do rodoviário com as menores emissões do transporte ferroviário e de cabotagem.

A zona franca de Manaus se destaca pela produção de eletroeletrônicos, sendo considerada um dos principais polos industriais brasileiros, cuja produção é voltada para a o mercado

consumidor de São Paulo (Marcondes, 2012). O transporte dos produtos é realizado, principalmente, pelo modo rodoviário, entretanto, podem ser utilizados modos de transporte alternativos, como a cabotagem, que vem apresentando um crescimento significativo nos últimos anos.

A cabotagem, no Brasil, teve início nos anos 1990, cujo cenário econômico instável encareceu o transporte rodoviário de mercadorias, abrindo a alternativa de cabotagem para o transporte de carga no interior do país. Entretanto, ao assumir a presidência, Fernando Collor de Melo inviabilizou os investimentos nesse setor que foram retomados apenas em 1999, com a *Mercosul Line*, criada em 1996 para suprir o mercado de cabotagem que voltava a crescer (Sampaio, 2006). Atualmente, o transporte de carga containerizada via cabotagem, entre os estados de Amazonas e São Paulo, é um dos mais expressivos (ANTAQ, 2012). Assim, este estudo visa comparar as emissões de CO₂ neste corredor de transporte (Manaus-Santos) para as alternativas rodoviária e de cabotagem, e indicar as principais etapas emissoras na cabotagem.

Deve-se destacar ainda que o setor de transportes foi responsável por cerca de 42% da emissão de CO₂ do setor energia no Brasil (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, 2004), sendo o modo rodoviário responsável por 92% desse total. Este cenário transparece a urgência em tratar a questão ambiental e de emissões de GEE no planejamento estratégico de investimentos em infraestrutura logística e de transportes do país. Assim, este trabalho visa contribuir para a quantificação dos impactos na emissão de GEE decorrentes de mudanças na matriz de transporte de carga, de modo a estimular o transporte intermodal como forma de reduzir as emissões de CO₂ geradas no setor de transportes de carga brasileiro.

Este trabalho está subdividido em outras três seções. A seção 2 apresenta as metodologias aplicadas para os cálculos de emissões referente a cada alternativa modal, enquanto os resultados obtidos e suas análises encontram-se na seção 3. Por fim, apresenta-se na seção 4, as considerações finais deste trabalho.

2. METODOLOGIA

Para quantificar e comparar as emissões de GEE no corredor entre os estados de São Paulo e Amazonas, inicialmente foram definidos os trajetos percorridos nos modos de transporte rodoviário e aquaviário: a. Trajeto por cabotagem: tem como origem o Porto de Santos e destino o Porto de Manaus, totalizando 9.056 km percorridos; b. Trajeto rodoviário: parte do município de Santos e segue até Belém, o que representa cerca de 3.033 km. Deste ponto até o porto de Manaus, o trajeto é percorrido por hidrovia; c. Em ambos os trajetos o percurso realizado por hidrovia através do rio Amazonas: Belém até Manaus (1.650 km) e Macapá até Manaus (1.141 km) foi desconsiderado nos cálculos. Admitiu-se que, apesar desta diferença de distância entre os dois trechos de aproximadamente 500 km, esta não teria impacto nas emissões totais por alternativa intermodal, visto que é relativamente pequena comparada ao restante do percurso total por cabotagem (Santos-Macapá), cuja distância é superior a 9 mil km. Para cada modo de transporte, foi considerada uma metodologia *bottom-up* para o cálculo das emissões de GEE, conforme descrito a seguir.

2.1. Metodologia adotada para quantificar as emissões da alternativa aquaviária

Para mensurar as emissões de GEE no modo aquaviário, foi utilizada a metodologia sugerida por Psaraftis e Kontovas (2008). A partir desse método, as Equações 1 e 2 detalham as emissões.

$$C = G \cdot T + F \cdot \frac{L}{V} + g \cdot t + f \cdot \frac{L}{v} \quad (1)$$

$$E_m = EF \cdot C \quad (2)$$

em que C: consumo total de combustível pelo navio [t/dia];
 G: consumo de combustível durante o carregamento do navio [t/dia];
 F: consumo de combustível em mar do navio carregado [t/dia];
 g: consumo de combustível durante o descarregamento do navio [t/dia];
 f: consumo de combustível em mar do navio vazio [t/dia];
 T: tempo de carregamento do navio [dias];
 t: tempo de descarregamento do navio [dias];
 L: distância entre dois portos [km];
 V: velocidade do navio carregado [km/dia];
 v: velocidade do navio descarregado [km/dia];
 E_m: emissão [tCO₂]; e
 EF: fator de emissão [tCO₂/t combustível].

2.1.1 Fator de Emissão

De acordo com Psaraftis e Kontovas (2008), o fator de emissão é baseado em fatores médios, que dependem das características do motor e do combustível utilizado. A Tabela 1 expressa os fatores de emissão sugeridos pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) e pelo IMO (*International Maritime Organization*). Os autores adotaram o fator de emissão de 3,17 kg de CO₂ por kg de combustível.

Tabela 1: Fatores de emissão para navios de contêineres (em tCO₂/t combustível).

	Média	Valor Mínimo	Valor Máximo
IPCC 2006 Guidelines	3,19	3,01	3,24
IMO 2000	3,17	3,159	3,175

Fonte: IPCC (2006); Psaraftis e Kontovas (2008 e 2009); e CORINAIR (1996) *apud* IMO (2000).

Os autores ainda sugerem um método para comparar a emissão de navios de acordo com a carga útil do navio e a distância percorrida pelo mesmo (Equação 3). Para utilizar o modelo escolhido, foram necessárias algumas adequações de unidades conforme descrito pelas Equações 4 e 5.

$$E_{tkm} = EF \cdot \left(\frac{C}{W} \right) \quad (3)$$

$$T = \frac{t}{24} \quad (4)$$

$$\text{Distância(km)} = d \cdot 1,609344 \quad (5)$$

em que E_{tkm}: emissão [t.km];
 EF: fator de emissão [tCO₂/t combustível];
 C: consumo total de combustível pelo navio [t/dia]; e
 W: carga carregada pelo navio [t].
 T: tempo [dias];
 t: tempo [horas];
 D: distância percorrida [km]; e
 d: distância percorrida pelo navio [milhas].

Além das transformações de unidade foram adotadas as seguintes premissas para o uso da metodologia de Psaraftis e Kontovas (2009): a. A emissão de GEE calculada corresponde à emissão do navio incluindo tanto a carga carregada, quanto a estrutura do navio; b. Para calcular a carga transportada na viagem, adotou-se a capacidade real informada no site da Aliança

Navegação e Logística para o navio Aliança Manaus, de valor nominal referente a 2.524 TEUs (Aliança, 2014); c. O peso médio por contêiner foi admitido em 16,5t.

Os autores consideram o consumo de combustível por etapa de operação (manobra, carregamento e deslocamento) de maneira independente; desta forma as Equações 6, 7 e 8 demonstram como foram mensuradas as emissões de GEE para cada etapa de operação. As emissões em manobra advêm da Equação 8, gerada a partir das Equações 6 e 7. Uma vez que os dados de consumo de combustível utilizados nos cálculos estavam separados em três categorias - tipo de combustível (IFO ou MDO); local do consumo (mar ou porto); e maquinário utilizado (principal ou auxiliar) -, as Equações 6, 7 e 8 foram adaptadas de modo que atendessem a estas especificidades. Neste sentido, foram adotadas as Equações 9, 10 e 11, descritas a seguir.

Deve-se ressaltar que não houve distinção do consumo de combustível e do tempo para o carregamento e o descarregamento de cargas. Para o deslocamento, não foi considerado o transporte de navios descarregados.

$$\text{Emissão no carregamento} = EF \cdot (T \cdot G + t \cdot g) \quad (6)$$

$$\text{Emissão no deslocamento} = EF \cdot \left(F \cdot \frac{L}{V} + f \cdot \frac{L}{v} \right) \quad (7)$$

$$\text{Emissão na manobra} = EF \cdot t_a \cdot M \quad (8)$$

$$\text{Emissão no carregamento} = \sum EF \cdot T \cdot P_{ij} \quad (9)$$

$$\text{Emissão no deslocamento} = \sum EF \cdot F_{ij} \cdot \frac{L}{V} \quad (10)$$

$$\text{Emissão na manobra} = \sum EF \cdot t_a \cdot P_{ij} \quad (11)$$

- em que EF: fator de emissão;
T: tempo de carregamento do navio [dias];
G: consumo de combustível durante o carregamento do navio [t/dia];
t: tempo de descarregamento do navio [dias];
g: consumo de combustível durante o descarregamento do navio [t/dia];
F: consumo de combustível em mar do navio carregado [t/dia];
L: distância entre dois portos [km];
V: velocidade do navio carregado [km/dia];
f: consumo de combustível em mar do navio vazio [t/dia];
v: velocidade do navio descarregado [km/dia];
t_a: tempo gasto em manobras [dias];
M: consumo de combustível durante a manobra [t/dia].
P_{ijk}: consumo de combustível no porto;
F_{ijk}: consumo de combustível no deslocamento;
i: tipo de combustível; e
j: maquinário utilizado.

Para calcular a emissão de CO₂ por quilômetro percorrido, pode-se adotar Equação 12.

$$S = \frac{\text{Emissão no deslocamento (t)}}{d} \quad (12)$$

- em que S: emissão de CO₂ por quilômetro [tCO₂/km]; e
d: distância [km].

Além disso, as emissões no deslocamento, dadas pela Equação 10, também foram apresentadas no formato da Equação 3, a fim de se obter a emissão de CO₂ em relação à carga transportada. A Equação 13 descreve tal procedimento de cálculo.

$$\text{Emissão CO}_2 \text{ (g/t-km)} = \frac{\text{Emissão no deslocamento (g)}}{W \cdot k} \quad (13)$$

em que W: carga carregada pelo navio [t]; e
k: fator de carregamento.

Outro ajuste realizado para permitir a quantificação das emissões em relação à quantidade de contêineres transportados é ilustrado na Equação 14. Esta equação considera não só a distância percorrida, como também a quantidades de TEUs (*twenty-foot equivalent unit*), que está correlacionada à quantidade de contêineres transportados.

$$\text{fator} \left(\frac{\text{gCO}_2}{\text{TEU-km}} \right) = \left(\frac{E_i}{k \cdot N \cdot d} \right) \quad (14)$$

em que E: emissão [t];
i: porto;
N: número de contêineres;
k: fator de carregamento; e
d: distância [km].

2.2. Metodologia adotada para quantificar as emissões da alternativa rodoviária

O estudo das emissões pelo modo rodoviário baseou-se no consumo de combustível do transporte de carga geral ao longo da rota estudada. Assim, a quantificação da emissão de CO₂ decorrente de um determinado consumo de combustível pode ser expressa pela Equação 15, que se refere a uma aproximação da abordagem *Tier 2* desenvolvida pelo IPCC (2006) para o transporte rodoviário, e utiliza valores nacionais para os fatores de emissão.

$$\text{Emissão}_{\text{CO}_2} = \sum_a [\text{Combustível}_a \cdot \text{FE}_a] \quad (15)$$

em que Emissão_{CO₂}: quantidade de CO₂[kgCO₂];
Combustível_a: quantidade de combustível vendido [TJ]; e
FE_a: fator de emissão [kgCO₂/TJ].

Como os dados utilizados no estudo referem-se ao consumo real de combustível, foi possível fazer algumas simplificações. Dentre elas, adotou-se a premissa de que a quantidade de combustível vendida equivale à de combustível consumida, e ajustou-se a unidade dimensional do combustível de terajoules (TJ) para litros (l). A partir destas simplificações, a Equação 15 do IPCC tornou-se a Equação 16, de fato adotada nos cálculos.

$$E = \sum_a (C_a \cdot F_a) \quad (16)$$

em que E: emissão de CO₂[kgCO₂];
C: combustível consumido [l];
F: fator de emissão [kgCO₂/l]; e
a: tipo de combustível (gasolina, diesel, etc.).

Para o fator de emissão, foi adotado o valor sugerido para diesel no Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, publicado em 2011 pelo Ministério do Meio Ambiente (Tabela 2).

Tabela 2: Fatores de emissão de CO₂ para caminhões.

Gasolina A (kgCO ₂ /l)	Etanol Anidro (kgCO ₂ /l)	Etanol Hidratado (kgCO ₂ /l)	Diesel (kgCO ₂ /l)	GNV (kgCO ₂ /m ³)
2,269	1,233	1,178	2,671	1,999

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2011).

O cálculo do consumo médio de combustível no trecho entre dois abastecimentos é dado pela razão entre o volume abastecido e a distância percorrida entre os dois últimos abastecimentos, conforme Equação 17. Admitiu-se que o estado do tanque ao fim de cada abastecimento é sempre idêntico, portanto a cada abastecimento o tanque é preenchido completamente.

$$X = \frac{D}{V} \quad (17)$$

em que X: fator de consumo de combustível [km/l];
D: distância percorrida [km]; e
V: volume de combustível abastecido [l];

Com os dados de consumo obtidos junto a uma transportadora, foi adotado um procedimento de validação sugerido por Spear (1952, *apud* Wickham, 2011), eliminando-se da análise todos os dados considerados como *outlier*. De acordo com este critério, são estabelecidos limites máximos e mínimos segundo as Equações 18 e 19, respectivamente.

$$S = Q_2 + 1,5 \cdot (Q_3 - Q_1) \quad (18)$$

$$I = Q_2 - 1,5 \cdot (Q_3 - Q_1) \quad (19)$$

em que S: limite superior dos dados utilizados em análises posteriores;
I: limite inferior dos dados utilizados em análises posteriores;
Q₁: primeiro quartil da amostra considerada;
Q₂: mediana u segundo quartil da amostra considerada; e
Q₃: terceiro quartil da amostra considerada.

A partir dos dados de consumo e distância das viagens relativas ao corredor analisado e que não foram classificados como *outlier*, é calculada uma média da distância percorrida e do consumo de combustível encontrado para o trecho. Então, o consumo de combustível estabelecido para o corredor de viagem é estimado de acordo com a Equação 17. Por fim, a estimativa das emissões por unidade de distância para cada trecho de viagem em função da quantidade de combustível consumido nessa viagem é estabelecida a partir das Equações 20, 21 e 22.

$$L = C \cdot D \quad (20)$$

$$E = F \cdot L \quad (21)$$

$$P = \frac{E}{D} \quad (22)$$

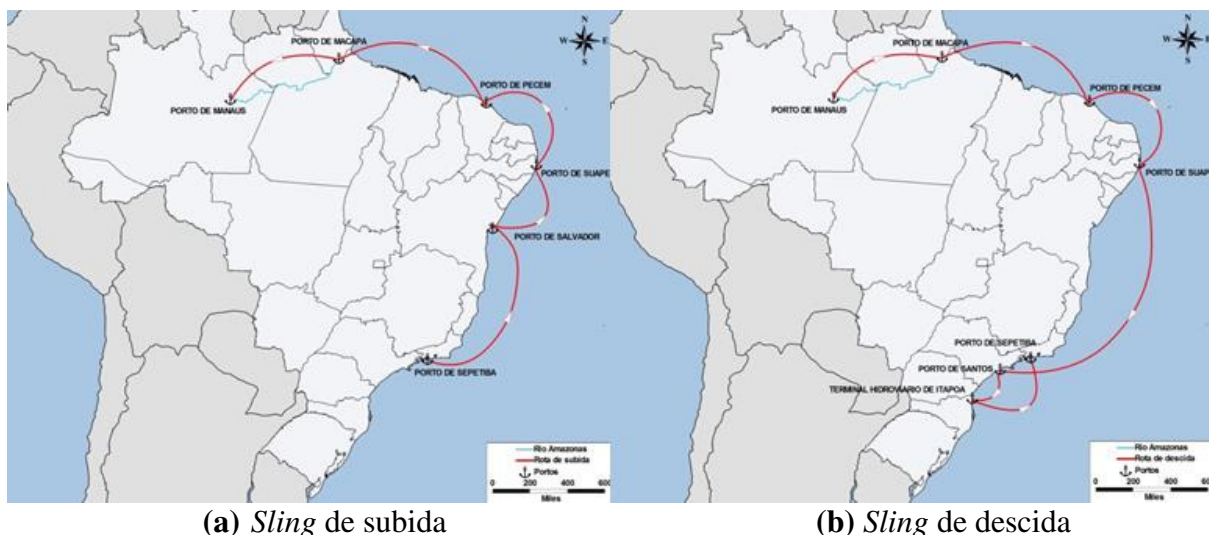
em que L: quantidade de combustível consumida na viagem [l];
C: consumo de combustível por unidade de distância [l/km];
D: distância total da viagem [km];
E: emissão total de CO₂ na viagem [kgCO₂];
F: fator de emissão [kgCO₂/l]; e
P: emissão de CO₂ em função da distância percorrida [kg CO₂/km].

2.3. Dados e Parâmetros

2.3.1. Alternativa Aquaviária/Cabotagem

Os dados utilizados para calcular as emissões no transporte de cabotagem para o corredor entre os portos de Manaus e Santos foram fornecidos por uma empresa atuante nesta rota. Destaca-

se que o *sling* completo, operado por esta empresa, que passa pelos portos de origem e destino de interesse nesta análise (Manaus e Santos), é mais extenso, chegando até o porto de Itapoá - SC, e recebe o nome de rota Manaus-Itapoá. Neste sentido, para efeitos de cálculo desta análise, o porto de Itapoá foi incluído, uma vez que o navio necessariamente passa por ele.



(a) *Sling* de subida (b) *Sling* de descida

Figura 1: Detalhamento do *sling* da rota Manaus-Itapoá.

O detalhamento dos trajetos de subida e descida entre os portos de Manaus (AM) e Santos (SP) por cabotagem analisados neste estudo estão apresentados nas Figuras 1a e 1b, respectivamente. O consumo de combustível informado foi separado em três categorias, conforme descrito a seguir e ilustrado na Tabela 3: a. Tipo de combustível: *Marine Diesel Oil* (MDO) ou *Intermediate Fuel Oil* (IFO); b. Local em que o combustível é utilizado: no porto, no mar, ou no rio; e c. O motor que utiliza o combustível: principal ou auxiliar.

Tabela 3: Consumo de combustível dos navios de contêineres para o *sling* Manaus-Itapoá.

Consumo de Combustível	Mar (IFO)	Rio (IFO)	Porto (MDO)	Mar (MDO) – motor auxiliar	Mar (IFO) – motor auxiliar	Porto (IFO) – motor auxiliar
t/dia	41,00	41,00	2,50	1,30	2,40	2,75

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados fornecidos pela empresa de cabotagem

Os tempos na cabotagem são divididos nas operações de manobra, de carregamento e de deslocamento, sendo os dois primeiros em relação aos portos pertencentes ao *sling* e o último entre dois portos consecutivos do *sling*. O cálculo das duas primeiras etapas se refere as emissões realizadas pela embarcação principal; não foram considerados os equipamentos e embarcações de apoio, devido a indisponibilidade de dados. A Tabela 4 apresenta os tempos totais considerados em cada operação e a distância percorrida no corredor Manaus-Santos.

Tabela 4: Tempos e distância percorrida dos navios de contêineres: Corredor Manaus-Santos.

	Tempo de Manobra	Tempo de Carregamento	Tempo de Deslocamento	Distância Percorrida
Total	20h	200h	431h	9.056 km

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados fornecidos pelas empresas de cabotagem

2.3.2 Alternativa Rodoviária

Para a análise do corredor de transporte rodoviário entre Manaus e Santos, foram utilizados os registros de viagens e de abastecimentos fornecidos por uma transportadora brasileira no período de janeiro a dezembro de 2012. A transportadora possui um perfil de operações baseado no transporte de produtos alimentícios industrializados, e uma carga média transportada estimada em 12 toneladas por viagem.

Porém, as informações correspondentes à estimativa da quantidade de combustível, tanto no início quanto ao término da viagem, encontravam-se, muitas vezes, incompletas. Além disso, os registros de viagens e abastecimento informados pela transportadora não continham informações específicas para esse corredor. Assim, para obter uma amostragem de viagens relativamente próximas ao trecho de interesse, selecionou-se os cavalos mecânicos que haviam realizado alguma viagem entre Brasília e os municípios do estado de São Paulo.

Entretanto, estes dois municípios não contemplam a rota completa, de Manaus a Santos. Uma primeira simplificação adotada diz respeito ao trecho entre Manaus e Belém, normalmente percorrido utilizando-se a modalidade hidroviária pelo Rio Amazonas. Com isso, este trecho, conforme já comentado anteriormente, foi desconsiderado dos cálculos. A rota rodoviária torna-se, então aquela compreendida entre Belém e Santos. A partir dos dados de registros fornecidos para o trecho entre Brasília e os municípios do estado de São Paulo, adotou-se o procedimento metodológico descrito anteriormente. Inicialmente foram eliminados *outliers* a partir das Equações 18 e 19 e, em seguida, calculados os consumos das viagens a partir da Equação 17.

Contudo, para compor a rota rodoviária a partir dos registros de viagem e abastecimento fornecidos pela transportadora, ainda faltariam dados referentes aos trechos de Belém à Brasília e de São Paulo à Santos. Nestes casos, foi feita uma aproximação a partir dos parâmetros de consumo de combustível e de emissão estimados com base nos dados de registros de viagens informados. Com isso, foi possível obter uma estimativa de emissão de CO₂ para a rota rodoviária completa, desde a cidade de Belém até Santos.

3. RESULTADOS

3.1. Emissões pelo transporte de cabotagem

A Tabela 5 ilustra os principais resultados obtidos para as estimativas de emissão através do transporte de cabotagem. Além da emissão total do trajeto, de 2.067,09 tCO₂, são apresentadas também as emissões em valores absolutos e em função das distâncias e cargas (em t e TEU) transportadas. A partir destas relações, é possível estabelecer comparações com os outros modais. Isso ocorre porque as distâncias percorridas e as cargas transportadas geralmente são diferentes entre duas alternativas modais diferentes. Para chegar nesses resultados, foram adotadas algumas premissas em relação à carga e à capacidade dos navios contêineres. No primeiro caso, considerou-se que o peso médio de cada contêiner carregado é de 16,5t, enquanto no segundo caso, considerou-se que a capacidade nominal dos navios era de 2.500 TEUs e a real de 1.886 TEUs. Assim, para a Equação 14, o valor da variável N é de 1.886 e para a Equação 13, W apresenta o valor de 31.119 t.

Tabela 5: Índices comparativos das emissões de CO₂ por navio portas-contêiner para o trajeto entre os portos de Macapá e Santos.

	tCO ₂ /km	gCO ₂ /t.km	gCO ₂ /TEU-km
Média	0,24	6,07	162,40

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados fornecidos pela empresa de cabotagem.

De acordo com Dong-Ping (2010) os navios correspondentes a uma faixa entre 2000 - 4000 TEUs emitem 132,89 g/TEU.km e de acordo com DEFRA (s.d.) apud McKinnon e Piecyk (s.d) um navio de 2.500 TEUs emite 13,5 gCO₂/t.km. Com isso, as emissões observadas neste presente estudo acabam sendo maiores que os valores internacionais. Esta diferença pode ser resultante de uma série de fatores. Em primeiro lugar, os dados utilizados para os cálculos neste estudo foram retirados de uma pró-forma, ou seja, não correspondem aos dados reais e observados durante as viagens. São apenas valores esperados para cada etapa e ponto do trajeto. Outro ponto diz respeito às suposições assumidas nestes estudos, que podem gerar resultados diferentes. Finalmente, tal diferença pode também ser decorrente das características tecnológicas envolvidas nas embarcações nacionais e estrangeiras, o que resultam em diferentes níveis de eficiência, consumo e emissão.

A Figura 3 detalha as emissões decorrentes da manobra, do carregamento e do deslocamento no trajeto analisado. Basicamente, estas emissões estão diretamente ligadas ao consumo de combustível em cada operação. Fica evidente que o deslocamento é a etapa mais importante no que diz respeito às emissões de CO₂, uma vez que responde mais de 94% do total emitido. No deslocamento, a distância percorrida, é determinante para definir os níveis de emissão do trajeto em questão. O carregamento representa pouco mais de 5% das emissões totais da viagem. Nesta operação, os níveis de emissão de CO₂ são definidos basicamente em função das diferenças nas características infra estruturais dos portos pertencentes à rota, o que determina o tempo de carregamento, como mostra a Tabela 4.

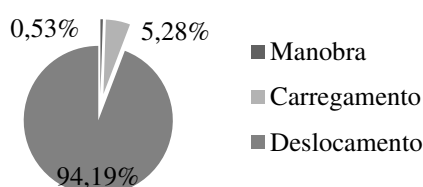


Figura 3: Percentual das emissões em cada operação.

Por último, a manobra corresponde a apenas 0,53% das emissões de CO₂ em relação às outras operações. Nesta, a quantidade de CO₂ emitida varia em função das características relacionadas à profundidade, ao clima e à geografia do local, as quais geram maiores ou menores dificuldades no manuseio dos navios nos portos.

3.2. Emissões pelo transporte rodoviário

Conforme mencionado na metodologia, uma vez que o trecho entre os municípios de Manaus e Belém é realizado pelo modo hidroviário, utilizando-se do Rio Amazonas, a análise das emissões pela alternativa rodoviária se refere ao trecho Belém-Santos.

Entretanto, os registros informados pela transportadora não continham informações específicas para esse trecho (Belém-Santos), mas diziam respeito ao trecho compreendido entre a cidade

de Brasília e alguns municípios do Estado de São Paulo. Estes dados permitiram estimar o consumo total de combustível bem como o rendimento médio do caminhão durante uma viagem entre Brasília e São Paulo. Em seguida foi feita uma extrapolação do consumo de combustível para o trajeto completo em função da distância total da rota rodoviária. A Tabela 6 mostra as distâncias de cada trecho e as estimativas do consumo de combustível e das emissões totais (em kg CO₂). Com o consumo de combustível expresso na Tabela 6 e o fator de emissão do diesel (Tabela 2), aplicou-se a metodologia do IPCC (Equação 15) para estimar a emissão de CO₂ decorrente do transporte de cargas no corredor entre Belém e Santos.

Tabela 6: Consumo de combustível estimado para a alternativa rodoviária

Trecho	Distância (km)	Consumo de combustível/viagem (l)	Emissão/viagem (kg CO ₂)
Belém – Brasília	1.964	576,92	1540,9
Brasília - São Paulo	989,7	290,70	776,4
São Paulo– Santos	79	23,20	61,9
Rota completa (Belém - Santos)	3.033	890,82	2.379,3

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados fornecidos pela transportadora.

Adotou-se a distância de 3.033 km e uma carga de 12 t para calcular os demais índices de emissão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Estimativa da emissão de CO₂ na rota Belém-Santos.

	kgCO ₂	kgCO ₂ /km	gCO ₂ /t.km
Rota Belém – Santos	2.379,37	0,78	65,37

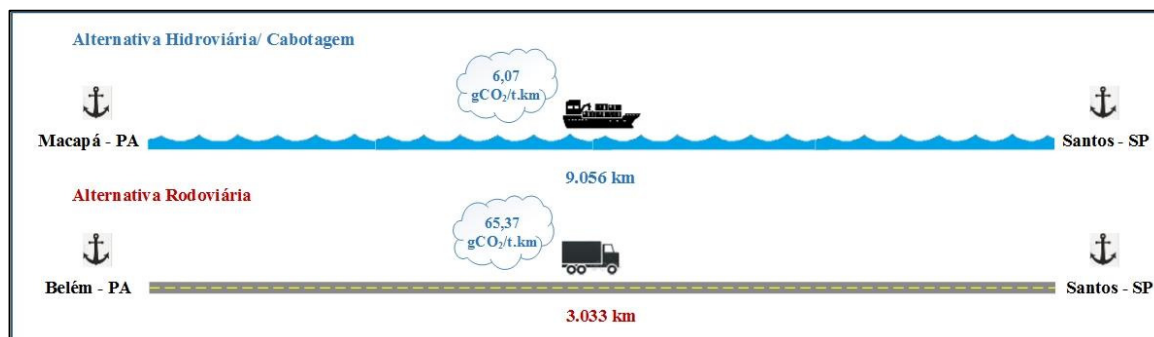
Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados fornecidos pela transportadora.

A Tabela 8 apresenta os resultados das emissões para as alternativas rodoviária e de cabotagem. Em termos absolutos, um caminhão que leva um contêiner emite cerca de 2.379 kgCO₂, enquanto um navio emite aproximadamente 2.067.094 kgCO₂ ao longo do corredor analisado.

Tabela 8: Emissões comparativas dos modos rodoviário e de cabotagem.

Modalidade	Emissão total (kg CO ₂)	Emissão por unidade de distância (kg CO ₂ /km)	Emissão por unidade de carga e distância (g CO ₂ /(t.km))
Rodoviária (Belém - Santos)	2.379	0,78	65,37
Cabotagem (Macapá - Santos)	2.067.094	235,07	6,07

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados fornecidos pela transportadora e pela empresa de cabotagem.



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados fornecidos pela transportadora e pela empresa de cabotagem.

Figura 4: Fator de emissão (g CO₂/(t.km)) para as alternativas rodoviária e de cabotagem

Entretanto, é preciso destacar que, enquanto cada caminhão transporta apenas um contêiner, o navio carrega o equivalente a 1.886 contêineres. Neste sentido, considerando-se a carga transportada pelas composições de transporte, assim como a distância percorrida em ambos os modos, o modo aquaviário resulta numa emissão de $6,07\text{gCO}_2/(\text{t.km})$, enquanto o rodoviário emite cerca de $65,37\text{gCO}_2/(\text{t.km})$, conforme a Figura 4. Com isso, observa-se que a alternativa rodoviária emite quase onze vezes mais CO_2 para cada unidade de distância percorrida e de carga transportada no corredor compreendido entre Manaus e Santos.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo estão alinhados à literatura internacional ao constatar que o transporte aquaviário de carga apresenta menores níveis de emissão de GEE quando comparado à modalidade rodoviária. Esta comparação só pode ser feita quando consideradas a distância percorrida e a carga transportada em todas as opções, uma vez que as embarcações são capazes de transportar uma quantidade de carga muito superior a de um caminhão ou a de um trem. Assim, a eficiência energética da embarcação é muito maior, o que implica em menores índices de emissão por unidade de carga transportada.

Dessa forma, recomenda-se que o transporte de carga através da cabotagem seja considerado no planejamento estratégico de investimentos em infraestrutura logística e de transportes do país, tendo em vista o seu potencial de redução de CO_2 como uma opção de transporte intermodal em relação ao uso do modo rodoviário exclusivamente.

Embora os dados referentes ao consumo de combustíveis na cabotagem utilizados para os cálculos das emissões tenham sido fornecidos por uma empresa do setor, não são dados primários, portanto podem gerar alguma distorção nos resultados em relação a realidade. Da mesma forma, os dados de consumo de combustível referentes ao transporte rodoviário possuem imprecisões, devido ao modo como são registrados os dados de abastecimento de combustível dos caminhões. Além destas limitações, que podem ser aprimoradas em pesquisas futuras, sugere-se também considerar as emissões de GEE relativas ao trecho hidroviário para o corredor Manaus-Santos, assim como para a ponta rodoviária até o Porto de Santos na alternativa aquaviária e, inclusive, para os equipamentos utilizados no transbordo intermodal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALIANÇA NAVEGAÇÃO E LOGÍSTICA, disponível em: http://www.alianca.com.br/alianca/pt/alianca/productsservices/vessels_1/vesseldetails_3792.jsp. Acesso em 15/01/2014.
- ALIANÇA NAVEGAÇÃO E LOGÍSTICA, 2014, "Navios". Disponível em: http://www.alianca.com.br/alianca/pt/alianca/productsservices/vessels_1/vesseldetails_3792.jsp. Acesso em: 24/04/2014.
- ANTAQ - Agência Nacional De Transportes Aquaviários. Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Anuario2012/40.htm>. Acessado em: 14/01/2014.
- ARAUJO, JOÃO G., "Navegação de Cabotagem no Brasil, de novembro de 2013", disponível em: <http://www.tecon.com.br/site/content/apresentacoes/ilos.pdf>. Acessado em: 21/03/2014.
- ARAUJO, JOÃO G., "Navegação de Cabotagem Brasileira e os Impactos da Lei 12.619, 2013", disponível em: http://www.mzweb.com.br/log-in/web/download_arquivos.asp?id_arquivo=829CD9AE-888C-4C9F-85E1-B388D27E5316. Acesso em: 21/03/2014.
- CORINAIR, 1996. "Emission Inventory Guidebook - 3rd edition, Outubro 2002 update", disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR3>. Acesso em: 22/02/2014.

- EUROPEAN CHEMICAL INDUSTRY COUNCIL (CEFIC), 2012 - "Measuring and Managing CO₂ Emissions of European Chemical Transport". Disponível em: <http://www.cefic.org/Documents/IndustrySupport/Transport-and-Logistics/Sustainable%20Logistics/McKinnon%20Report%20Transport%20GHG%20emissions%2024.01.11.pdf>. Acessado em: 10/04/2014.
- GUANAMBARA ADUANEIRA, "Standard Container - 20'", disponível em: <http://www.gbaduaneira.com.br/portugues/containeres.htm>. Acesso em 31/01/2014.
- GUIMARÃES, V.A., D'AGOSTO, M. A., JUNIOR, I. C. L., SILVA, M. A. V., CASTRO, J. e FRANCA, L.S., 2013, "Análise da evolução da eficiência energética no setor de transporte brasileiro", disponível em: http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2013/431_AC.pdf. Acessado em: 11/09/2014.
- ILOS - INSTITUTO DE LOGÍSTICA E SUPPLY CHAIN. Disponível em: http://ilos.com.br/web/index.php?option=com_content&view=article&id=1883%3Avenida-de-diesel-pelas-distribuidoras-no-brasil&catid=164%3Amapas-aquaviarios&Itemid=200001&lang=br. Acessado em: 21/03/2014.
- IMO, 2000 –Intenational Maritime Organization. "StudyofGreenhouseGasEmissionsfromShips, 31 de março de 2000", disponível em: <http://cleantech.cnss.no/wp-content/uploads/2011/05/2000-IMO-Study-of-Greenhouse-Gas-Emissions-from-Ships.pdf>. Acesso em: 12/12/2013.
- IPCC – Intergovernmental Panel On Climate Change, 2006, "Guidelines for NationalGreenhouseGasInventories", Chapter 3: Mobile Combustion, disponível em: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf. Acesso em: 20/02/2014.
- IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change. IPCC: Greenhouse gas emissions accelerate despite reduction efforts. IPCC Press Release. 2014.
- MARCONDES, CAROLINA. "Cabotagem vira opção em transporte de longo curso no país. de 19 de abril de 2012", disponível em: <http://br.reuters.com/article/businessNews/idBRSP8310BS20120419>. Acessoem:21/03/2014.
- MCTI- Ministério DaCiência, Tecnologia E Inovação, 2013. Estimativas anuais de emissões de gasesde efeito estufa no Brasil, Brasília.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011, "1º. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários", Brasília.
- MINISTÉRIO DOSTRANSPORTES, 2012. Projeto de Reavaliação de Estimativas e Metas do Plano Nacional de Logística e Transportes, Brasília.
- NOGUEIRA, MARTA. "Burocracia impede aumento de transporte por cabotagem, mostra estudo", disponível em: <http://www.valor.com.br/brasil/2797650/burocracia-impede-aumento-do-transporte-por-cabotagem-mostra-estudo>. Acesso em: 21/03/2014.
- PESQUISA CNT DO TRANSPORTE MARÍTIMO, 2012, "Características do Porto de Suape". Disponível em: http://www.cnt.org.br/pesquisamaritima/files/Porto_Suape_PCNTTM_2012.pdf. Acesso em: 14/04/2014.
- PESQUISA CNT DO TRANSPORTE MARÍTIMO, 2012, "Características do Porto de Rio Grande". Disponível em: http://www.cnt.org.br/pesquisamaritima/files/Porto_RioGrande_PCNTTM_2012.pdf. Acesso em: 14/04/2014.
- PSARAFTIS H.N AND KONTOVAS C.A (2008), "Ship Emissions Study", Laboratory for Maritime Transport, National Technical University of Athens, report to Hellenic Chamber of Shipping, Maio 2008, disponível em: <http://www.nee.gr/downloads/180ship.emissions.study.pdf>. Acesso em: 14/03/2014.
- PSARAFTIS H.N AND KONTOVAS C.A (2009), "An Online Ship Emissions Calculator as a Decision Making Aid And Policy Evaluation Tool", Laboratory for Maritime Transport, National Technical University of Athens, Oct. 2009, disponível em: <http://www.martrans.org/documents/2009/air/imam2009-kontovas%20psarftis.pdf>.Acessoem: 12/03/2014.
- SAMPAIO, CRISTIANO. "Surgimento da Navegação de Cabotagem no Brasil. 18 de agosto de 2006.", disponível em: <http://www.administradores.com.br/artigos/economia-e-financas/surgimento-da-navegacao-de-cabotagem-no-brasil/12558/>. Acesso em: 21/03/2014.
- SONG, DONG-PING, 2010 "CO₂ Emission Analysis For Containerships Based On Service Activities". Disponível em: http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/www.civil.ist.utl.pt/ContentPages/1440373722.pdf. Acesso em: 10/04/2014.