

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a empresa e o estágio, além de definir o objetivo deste trabalho.

1.1 A empresa

A empresa na qual foi realizado o presente trabalho de formatura é a Aliança Navegação e Logística, que faz parte do Grupo Oetker, proprietário também da empresa de navegação Hamburg Sud.

Há dois tipos de transportes marítimos realizados pela Aliança: longo curso e cabotagem. O primeiro diz respeito a transportes de cargas entre o Brasil e outros países, enquanto o segundo se refere a transportes entre os portos brasileiros. No longo curso a empresa conta com 15 navios em operação, com serviços para América do Sul, América Central, América do Norte, Europa, Ásia e África do Sul. Quanto à cabotagem, a Aliança possui 10 navios em operação, sendo líder no Brasil nesse tipo de transporte.

A empresa também é responsável pelos transportes terrestres executados para levar a carga do cliente até o porto e/ou do porto até o cliente, sendo que esses transportes podem ser rodoviários ou ferroviários.

O portfólio de clientes da Aliança é formado por empresas dos mais diversos setores, como: automotivo, químico, eletroeletrônico, carnes, frutas, higiene e limpeza, e madeireiro. Como exemplos de clientes, pode-se citar: Samsung, LG, Unilever, Suzano Papel e Celulose. As cargas transportadas pela empresa abrangem, portanto, uma ampla gama de produtos, incluindo cargas especiais e cargas perigosas. Para o transporte das cargas, a empresa dispõe de contêineres de carga seca, contêineres refrigerados e contêineres especiais.

A Aliança está presente no ranking das 500 Melhores e Maiores da Revista Exame 2012, encontrando-se entre as 10 principais empresas de transporte do Brasil. A qualidade dos serviços prestados pela empresa é atestada pelas certificações ISO 9001:2008 e ISO 14001:2004, emitidas pelo Germanischer Lloyd.

Em 2011, a Aliança obteve um faturamento de cerca de 1 bilhão de euros. Atualmente, ela conta com aproximadamente 1200 funcionários, sendo cerca de 800 em terra e 400 marítimos.

1.2 O estágio

O estágio, iniciado em 02 de maio de 2012, está sendo realizado na área de multimodal (unidade de São Paulo). Esta área é responsável pelos transportes terrestres (rodoviários e ferroviários) de contêineres cheios relativos à cabotagem e ao longo curso. No entanto, devido ao objetivo do presente trabalho (item 1.3), serão detalhadas as operações da área concernentes aos transportes rodoviários de contêineres cheios relativos à cabotagem.

Para qualquer transporte marítimo de cabotagem há um porto de origem e um porto de destino. Quanto aos transportes comercializados pela empresa que envolvem transportes rodoviários, há três categorias:

- Porta a Porto (PA-PO): A Aliança é responsável pelo transporte rodoviário da carga da porta do cliente até o porto de origem e pelo transporte marítimo do porto de origem até o porto de destino.
- Porto a Porta (PO-PA): A Aliança é responsável pelo transporte marítimo da carga do porto de origem até o porto de destino e pelo transporte rodoviário do porto de destino até a porta do cliente.
- Porta a Porta (PA-PA): A Aliança é responsável pelo transporte rodoviário da carga da porta do cliente até o porto de origem, pelo transporte marítimo do porto de origem até o porto de destino e pelo transporte rodoviário do porto de destino até a porta do cliente.

É válido destacar que em todos os tipos de transporte rodoviário efetuados pela empresa há ao menos um contato com um porto.

Na área de multimodal existem 8 LBUs (*Local Business Units*) além da unidade de São Paulo, sendo que cada LBU é responsável pelos transportes rodoviários relativos a determinados portos brasileiros, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Relação das LBUs e de seus respectivos portos.

LBU	Portos
Manaus (MAO)	Manaus (MAO)
Recife (REC)	Suape (SUA)
Fortaleza (FOR)	Pecem (PEC) Fortaleza (FOR)
Salvador (SSA)	Salvador (SSA)
Santos (SSZ)	Santos (SSZ)
Porto Alegre (POA)	Rio Grande (RIG)
Rio de Janeiro (RIO)	Rio de Janeiro (RIO) Vitória (VIX)
Itajaí (ITJ)	Itajaí (ITJ) Imbituba (IBB) Itapoá (IOA) Navegantes (NVT) Paranaguá (PNG) São Francisco do Sul (SFS)

Na Figura 1 encontra-se um mapa com a localização da unidade de São Paulo e das 8 LBUs.

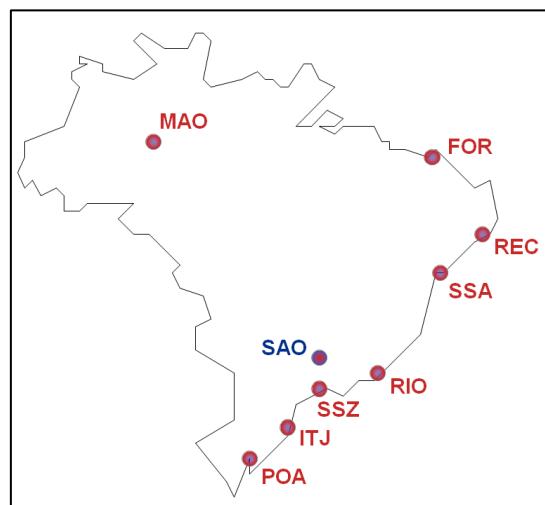


Figura 1. Mapa com a localização da unidade de São Paulo e das LBUs. Elaboração própria.

Como já mencionado, as LBUs são responsáveis por realizar os transportes rodoviários de/para os portos que coordenam. Para cada porto há uma lista de cidades origem/destino, e a combinação porto + cidade configura uma rota. Para cada rota há uma lista de empresas transportadoras cadastradas, com o frete cobrado por transportadora para realizar a rota. A tabela com os fretes e rotas é denominada tabela padrão, e abaixo se encontra um exemplo de uma linha dessa tabela.

Tabela 2. Exemplo de linha da tabela padrão.

Porto	Cidade	Transportadora A	Transportadora B	Transportadora C	Média dos Fretes	Preço cobrado pela Aliança
SSZ	São Paulo - SP	Frete A	Frete B	Frete C	(Frete A + Frete B + Frete C)/3	Fórmula (Média)

Quando um cliente contrata a Aliança para realizar um transporte rodoviário para determinada rota, a LBU responsável observa a tabela padrão e cobra do cliente um preço determinado por uma fórmula que utiliza como *input* a média dos fretes das transportadoras com movimentação cadastradas para aquela rota. Apenas mais tarde a LBU decidirá qual será a transportadora que efetivamente realizará o transporte, seguindo como critérios o preço e a disponibilidade de caminhões da transportadora.

A unidade multimodal de São Paulo é responsável por coordenar e analisar o desempenho das demais LBUs, além de definir metas de volumes, emitir contratos, realizar projetos multimodal e efetuar os *inputs* no e-cargo, sistema de base de dados da empresa.

As atividades do estágio incluem: planejar melhorias para a área de multimodal, identificar variações ocorridas após análise de mercado, verificar informações de produção em sistemas de base de dados, analisar índices de produção, auxiliar na manipulação de bases gerenciais.

1.3 Objetivo deste trabalho

O objetivo deste trabalho de formatura é realizar uma análise comparativa entre o transporte rodoviário e o transporte de cabotagem realizado pela empresa Aliança Navegação e Logística, do ponto de vista da sustentabilidade, para um trecho completo Porta a Porta.

A Figura 2 esquematiza os dois transportes que serão comparados.

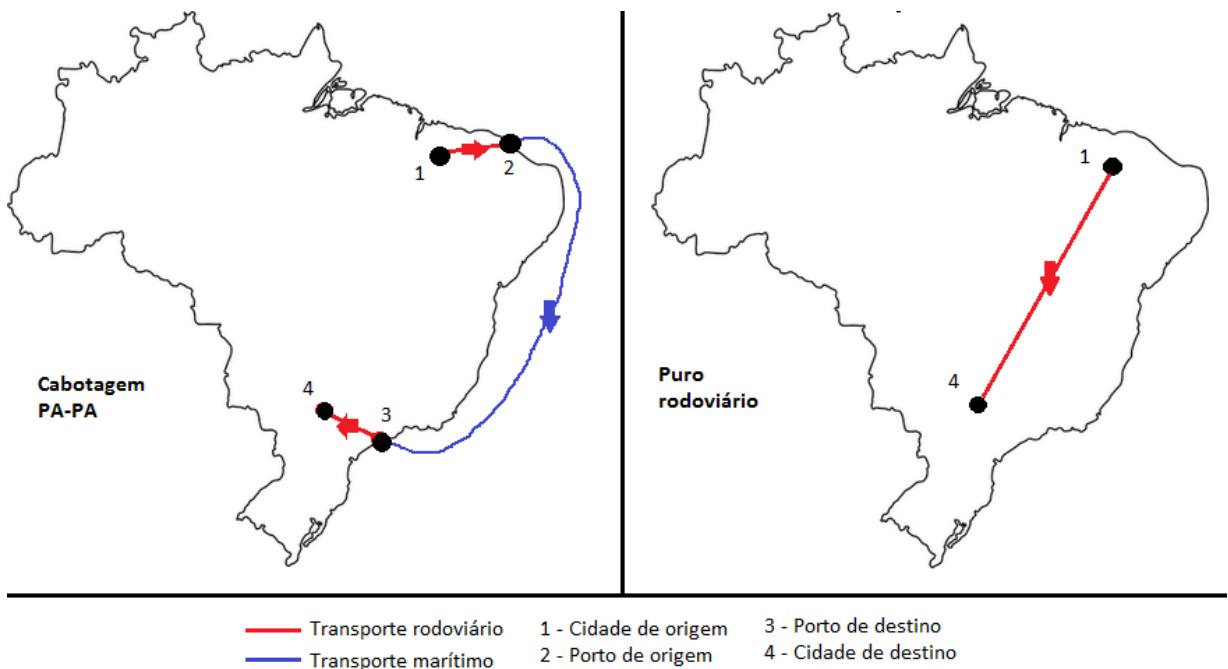


Figura 2. Transportes a serem comparados. Elaboração própria.

1.4 Estrutura deste trabalho

O capítulo 1 apresenta informações sobre a empresa e sobre o estágio, bem como define o objetivo deste trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma discussão a respeito da relevância deste trabalho, tanto no âmbito de seu tema quanto de sua utilidade para a empresa.

O capítulo 3 compreende a revisão bibliográfica a respeito dos tipos de cargas e contêineres existentes, dos transportes marítimo e rodoviário e das características ambientais do transporte de cargas no Brasil e no mundo. Além disso, a última parte do capítulo consiste na apresentação e adaptação de quatro métodos de análise ambiental que serão utilizados para avaliar os transportes da empresa.

O capítulo 4 consiste na aplicação dos métodos e apresentação dos resultados, enquanto o capítulo 5 contém as conclusões e recomendações deste trabalho.

2 DISCUSSÃO SOBRE A RELEVÂNCIA DESTE TRABALHO

O presente capítulo apresenta uma discussão a respeito da relevância deste trabalho, em relação a seu tema e à sua utilidade para a empresa.

2.1 Relevância do tema “sustentabilidade”

Ao longo do século XIX se pensava que a natureza seria uma fonte ilimitada de recursos à disposição do homem (Bernardes e Ferreira, 2003). Assim, foram desenvolvidas práticas de exploração intensa dos recursos naturais, com danos tanto para a natureza quanto para os próprios homens. Pensava-se que o crescimento econômico não teria limites, e até os anos 1950 e 1960 o termo desenvolvimento foi relacionado a crescimento econômico e industrialização, sem considerar os danos ambientais causados por eles (Fogliatti *et al*, 2004).

No entanto, grandes acidentes ambientais que ocorreram nas décadas subsequentes como o da Baía de Minamata no Japão, o acidente na Usina Nuclear de Chernobyl na URSS e o vazamento de petróleo da Exxon Valdez no Alasca, dentre outros (Fogliatti *et al*, 2004; Jappur, 2004), provocaram mudanças nas visões das empresas e da sociedade a respeito do tema, iniciando um processo de conscientização de que os aspectos ambientais deveriam ser levados em consideração no processo de desenvolvimento econômico. Dessa forma, durante os últimos quarenta anos a questão ecológica gerou políticas ambientais que tiveram uma evolução bastante acentuada, políticas estas discutidas em eventos com a participação de representantes de diversos países, como a Conferência de Estocolmo (1972) e a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (1992, também conhecida como Rio-92). Esta última deu grande destaque ao “desenvolvimento sustentável”, conceito apresentado pela primeira vez no relatório *“Our Common Future”*, publicado em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. O principal objetivo do desenvolvimento sustentável é garantir a qualidade de vida para as gerações futuras, sem a destruição do meio ambiente, com crescimento econômico e equidade social.

Sendo assim, as empresas começaram a perceber que estavam inseridas em um contexto mais amplo e que, para crescer, deveriam ser sustentáveis. Do ponto de vista dos consumidores, estes começaram a se conscientizar do seu poder de transformação social, demandando maior responsabilidade das empresas nos âmbitos ambiental e social. Surgiu,

assim, a “sustentabilidade corporativa”, que abrange o compromisso empresarial para com o desenvolvimento sustentável, ou seja, que prega uma forma de conduzir as atividades empresariais pensando “nas pessoas, nos lucros e no planeta” (SustainAbility, IFC, Instituto Ethos, 2003).

A empresa que busca a sustentabilidade corporativa obtém uma vantagem competitiva sustentável, aumentando sua competitividade e agregando valor à organização a partir da melhoria de sua imagem e reputação perante o público (Campos *et al.*, 2007).

Para “medir” a sustentabilidade nas empresas foi criado, em 1999, o Índice Dow Jones de Sustentabilidade, na Bolsa de Nova York, que consiste em uma relação das empresas com as melhores práticas de desenvolvimento sustentável. Esse modelo influenciou a criação de índices de sustentabilidade em outras bolsas de valores como a de São Paulo (Índice de Sustentabilidade Empresarial), a de Londres e a de Johanesburgo. Se uma empresa faz parte dessas relações, isso causa um impacto positivo perante seus consumidores e aumenta sua reputação sobre seus concorrentes.

No âmbito do Brasil, a preocupação ambiental é grande, devido principalmente às fortes perspectivas de crescimento econômico nos próximos quatro anos, perspectivas estas explicadas pelo cenário positivo da economia brasileira, especialmente o relacionado ao mercado interno; pelos investimentos voltados à realização dos eventos esportivos que serão realizados no país em 2014 (Copa do Mundo) e em 2016 (Jogos Olímpicos); e pelas oportunidades ligadas aos setores de infraestrutura e de exploração e produção de petróleo (Nota técnica DEA 15/11 – EPE, 2011). Grandes indústrias brasileiras têm agido para melhorar os impactos ambientais de seus negócios, o governo tem estado mais ativo no seu papel de regulador e a sociedade está mais exigente quanto às questões ambientais. Isso foi comprovado por uma pesquisa realizada pelo Instituto ILOS (Instituto de Logística e Supply Chain) em 2011, pesquisa esta que faz parte do *“Panorama ILOS: Logística Verde: Iniciativas de sustentabilidade ambiental das empresas no Brasil 2011”* e que teve como base entrevistas realizadas com 109 executivos atuantes nas maiores empresas industriais do Brasil (empresas de grande porte na lista das mil maiores em faturamento no país). Essa pesquisa mostrou que mais de 50% das grandes empresas sentem um aumento da pressão do governo exigindo que elas sejam mais sustentáveis (Figura 3). Além disso, as organizações também sentem o aumento das exigências por parte dos clientes, que começam a priorizar empresas ecologicamente corretas (Figura 4).

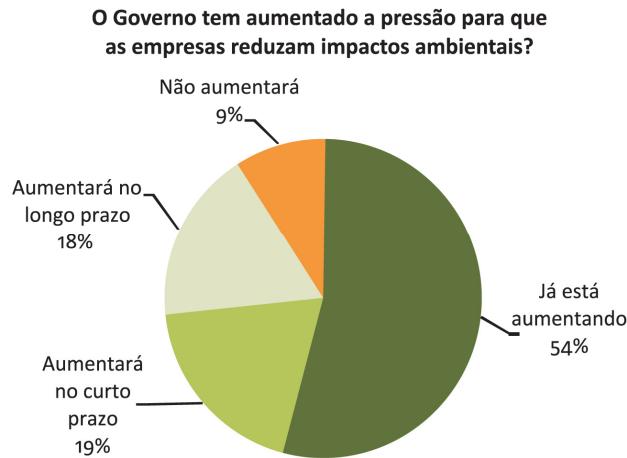


Figura 3. Pressão do governo para redução de impactos ambientais. ILOS, 2011.



Figura 4. Pressão dos clientes para redução de impactos ambientais. ILOS, 2011.

Nesse contexto de aumento da preocupação com as questões ambientais, incluem-se também novas exigências relacionadas às atividades logísticas. A pesquisa mostra que nas grandes indústrias brasileiras a área de logística aparece como uma das que mais atuam nas decisões relacionadas à sustentabilidade ambiental da companhia (76% das empresas envolvem a área de Logística e Supply Chain em ações que buscam reduzir os impactos ambientais da organização).

Tratando especificamente do transporte de cargas, temos que ele é fundamental para o desenvolvimento econômico do país, visto que faz a ligação entre as atividades que formam a cadeia produtiva. Em 2006, os custos logísticos representaram 11,7% do PIB Brasil, sendo que destes, 6,9% referem-se a custos com transporte (CEL/COPPEAD, 2008). No entanto, o transporte de cargas também é responsável por diversos danos socioambientais, como por

exemplo: emissão de gases causadores do efeito estufa (como CO₂, NOx), poluição atmosférica e sonora, risco de acidentes graves, congestionamentos.

O transporte rodoviário, por sua vez, é o principal meio para o deslocamento de cargas dentro do Brasil, sendo responsável, em 2010, por quase 63% do TKU (toneladas-quilômetro útil) movimentado no país, como mostra a Figura 5, que apresenta a matriz de transportes do Brasil em 2010. A Figura 6 mostra a quantidade de carga transportada por rodovias por ano no Brasil (em milhões de toneladas), e a Figura 7, a movimentação de cargas por tipo de navegação por ano no Brasil (em milhões de toneladas).

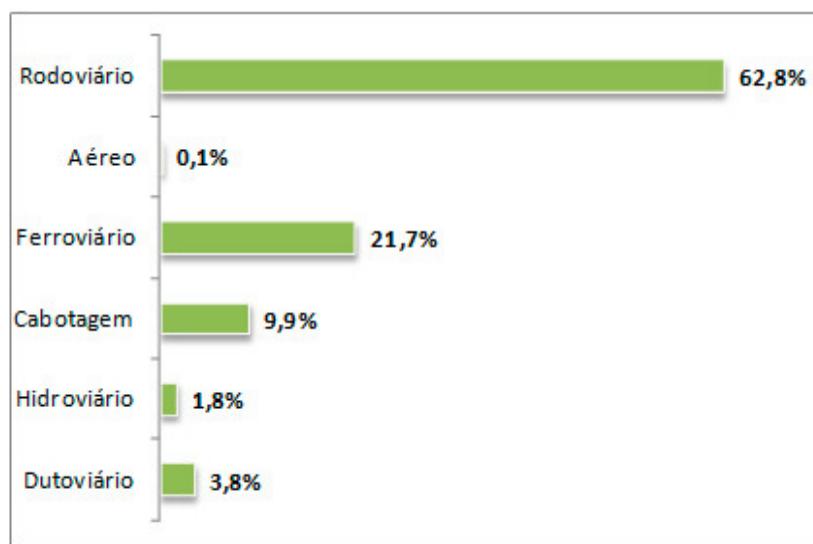


Figura 5. Matriz de Transportes do Brasil em 2010 (% TKU por modal). ILOS, 2010.

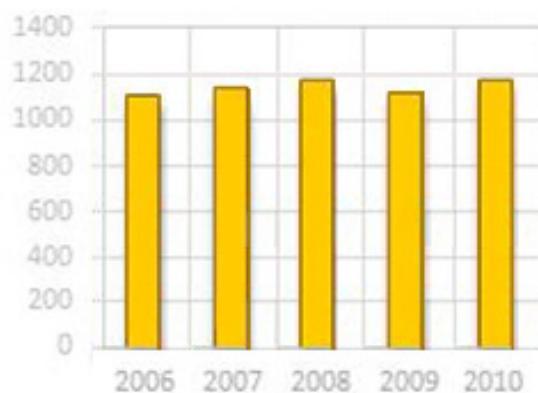


Figura 6. Carga transportada por rodovias – Brasil (em milhões de toneladas).

Adaptado de ILOS, 2010.

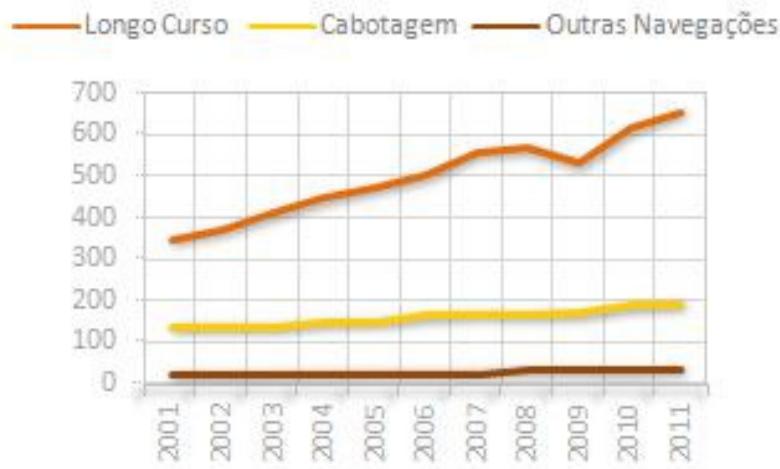


Figura 7. Movimentação de cargas por tipo de navegação - Brasil (em milhões de toneladas). ILOS, 2011.

2.2 Importância dada à sustentabilidade pela Aliança

No que diz respeito à preocupação da Aliança com a sustentabilidade, esta pode ser demonstrada por meio das diversas políticas e ações ambientais adotadas pela empresa, que se dividem em três grupos: logística de contêineres, operações nos navios e tecnologia dos navios. A seguir serão detalhadas algumas ações e políticas ambientais de cada grupo, presentes no catálogo ambiental disponível no site da empresa (www.alianca.com.br).

Logística de contêineres

- Contêineres refrigerados

Contêineres refrigerados (ou contêineres *reefer*) são necessários para o transporte de produtos perecíveis como frutas, vegetais, carnes e peixes, pois mantêm a temperatura interna do contêiner constante, independentemente das condições externas, utilizando, para tal, energia elétrica. O principal componente desse tipo de contêiner é o compressor, responsável por “gerar” a climatização fria.

Desde 1997 a Aliança utiliza compressores rotativos em grande parte de seus contêineres refrigerados, que devido às suas características de engenharia e de funcionamento permitem atingir eficiência energética muito superior à dos compressores convencionais. Os

compressores rotativos consomem até 40% menos energia do que os equipamentos tradicionais.

Além disso, a empresa realiza testes periódicos para otimizar o consumo de energia dos contêineres *reefer*. Um exemplo foi um software desenvolvido pela Aliança em parceria com uma empresa fabricante de refrigeradores, que permitiu melhoria no consumo de energia sem interferência no desempenho do equipamento. Com isso, foi verificada uma economia de 30% em energia.

- Contêineres de carga seca

O contêiner para transporte de carga seca não é um produto de alta tecnologia, porém ainda assim é possível de sofrer mudanças que beneficiem a proteção do meio ambiente. Dessa forma, a Aliança está reduzindo a utilização de madeira tropical no piso interno do contêiner, passando a priorizar o emprego de madeira de reflorestamento. No futuro, a empresa pretende utilizar o bambu como pavimento nos contêineres, pois os testes realizados estão demonstrando que esse material é excelente para o revestimento do piso e poderá reduzir o uso de madeira tropical, no longo prazo, em 80% a 100%. O empecilho ao uso do bambu reside no fato de que o material ainda precisa de aprovação para ser utilizado em contêineres; no entanto, a Aliança já está em contato com as autoridades para obter autorização oficial.

Além disso, a empresa está testando um novo projeto de piso para contêineres, com um teor mais elevado de aço no pavimento, medida que também prevê redução na quantidade de madeira utilizada.

Operações nos navios

- Redução do consumo de energia

Desde 2006, nas inspeções regulares que são realizadas a bordo, a Aliança fornece aos comandantes de seus navios treinamentos e instruções para economizar energia, instruções estas definidas no Manual de Economia de Energia. Alguns exemplos dessas medidas são:

- Os ventiladores dos porões de carga, quando ociosos, são sempre desligados;

- Iluminações desnecessárias nos porões de carga, plataforma, área de máquinas, áreas de passagem e dutos são propositalmente desligadas;
- Há redução da pressão dos compressores de ar de partida dos motores principais.
- Troca da água de lastro

A água de lastro é usada pelos navios para compensar a perda de peso advinda principalmente do desembarque de cargas, de forma a controlar o calado (distância vertical entre a superfície da água e a parte mais baixa do navio) e a estabilidade da embarcação, mantendo as tensões estruturais do casco dentro de níveis aceitáveis de segurança.

Antigamente eram utilizadas pedras ou areia para compensar o peso perdido, mas atualmente os navios utilizam água do mar nos tanques de lastro, sendo que a captação e descarte dessa água ocorrem majoritariamente em áreas portuárias, tornando possíveis as operações de embarque e desembarque de cargas nas embarcações. No entanto, essa prática é ecologicamente questionável, pois juntamente com a água do mar captada em determinado porto são capturados organismos pequenos que podem ser transportados e introduzidos em outro porto previsto na rota de navegação. Esses organismos, como pequenos invertebrados, bactérias, vírus, algas, esporos e ovos e larvas de diversos animais, ao serem colocados em outros ecossistemas, colocam em risco o equilíbrio biológico das áreas invadidas.

Considerando essa questão ambiental, os navios da Aliança, antes mesmo de qualquer regulamentação legal ter sido criada, já realizavam e continuam realizando a troca da água de lastro durante as travessias oceânicas, em alto-mar. Além disso, processos técnicos para remover os organismos da água de lastro também estão sendo estudados.

- Velocidade reduzida

Reducir a velocidade de navegação do navio implica em reduzir o consumo de combustível, o que por sua vez acarreta diminuição na emissão de poluentes e de CO₂, um dos gases causadores do efeito-estufa. Estima-se que uma tonelada de combustível produza cerca de três toneladas de CO₂.

A Aliança busca otimizar a velocidade de seus navios levando em consideração o fato de que operar com velocidade reduzida causa menos danos ao ambiente. Assim, a empresa segue uma política de seus navios operarem “rápido o suficiente”, e não “o mais rápido possível”, o que permite a redução do consumo de combustível. Por exemplo, uma redução da

velocidade do navio de 25 nós ($1\text{ nó} = 1,853\text{ km/h}$) para 23 nós reduz cerca de 30% o consumo de combustível, como mostra o Gráfico 1.

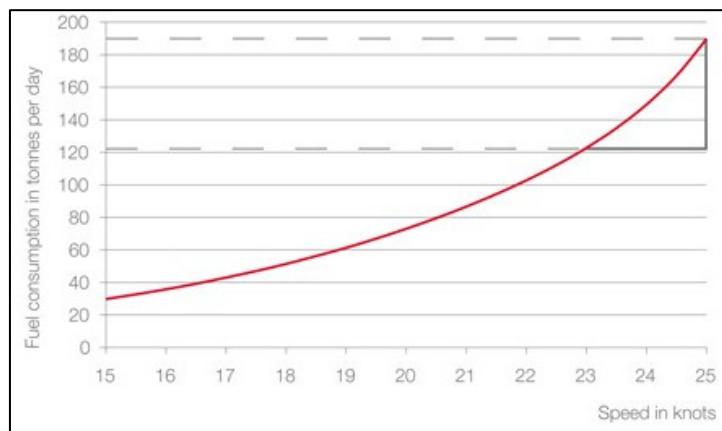


Gráfico 1. Consumo de combustível em relação à velocidade do navio. Aliança, 2008.

- Descarte de resíduos

Na região inferior de um navio encontram-se tanques específicos para a armazenagem dos resíduos líquidos gerados a bordo. Além de resíduos de água de esgoto, esses tanques também armazenam resíduos de óleo combustível, lubrificante e aditivos químicos. A água de esgoto que um navio lança ao mar deve ser primeiramente separada em água e resíduos de óleo. O regulamento vigente MARPOL (Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios), editado e controlado pela IMO (Organização Marítima Internacional), divisão da ONU (Organização das Nações Unidas) que regula a atividade marítima mundial, estipula um limite de 15 ppm na água de esgoto que é descarregada no mar. Isso significa que essa água pode apresentar no máximo 15 partes de óleo para 1 milhão de partes de água. Apesar de ser uma concentração baixa, não é considerada suficientemente boa pela Aliança, o que fez a empresa instalar em seus navios das classes Monte, Rio, Bahia e Santa separadores de óleo da água de esgoto calibrados para um limite de 5 ppm.

No que concerne ao lixo (resíduos sólidos gerados a bordo), nenhum dos navios da Aliança lança o lixo acumulado no mar, apesar dessa prática ainda ser comum no meio marítimo. O lixo dos navios da empresa é incinerado em unidades de incineração adequadas, utilizando um processo ecologicamente correto e certificado, enquanto que resíduos recicláveis, como plástico, são descartados em terra. Nos navios que não possuem incineradores a bordo é utilizado um compactador de lixo que reduz a forma física do mesmo para armazenagem e posterior descarte em terra.

- Programação de rota segundo condições climáticas

Utilizando um excelente sistema de previsão climática e um software sofisticado capaz de combinar dados meteorológicos e marítimos de modo a produzir um cenário completo, os navios da Aliança são capazes de navegar com maior segurança e com menor consumo de combustível, visto que podem programar suas rotas de forma a evitar más condições climáticas que possam causar perigo, aumentar o tempo de viagem e o consumo de combustível.

Tecnologia dos navios

- Pré-estabilizador de turbulência e tubulação Schneekluth

A hélice de um navio gera o impulso que o faz navegar, no entanto, por estar necessariamente instalada em uma parte da embarcação que sofre severa turbulência provocada pelo escoamento da água, recebe um efeito espiral de água que prejudica a eficiência da propulsão. Para reduzir esse efeito espiral indesejado, a empresa instalou um equipamento que pode ser chamado de pré-estabilizador de turbulência (em inglês, *pre swirl stator*, PSS) nos 10 navios da classe Santa. O PSS (Figura 8) consiste em vários defletores que corrigem o direcionamento do fluxo de água, diminuindo o efeito espiral e aumentando o rendimento e a eficiência da hélice. Visto da popa do navio, o PSS situa-se à frente da hélice. Com a utilização desse equipamento, cada navio da classe Santa economiza em torno de 800 toneladas de combustível por ano, ou seja, cerca de 2.550 toneladas de CO₂ deixam de ser liberadas anualmente por navio.



Figura 8. PSS de um navio da Aliança.

Outra estratégia para otimizar o fluxo de água que passa pela hélice é a tubulação Schneekluth, constituída por defletores de jato que permitem que o fluxo de água passe diretamente para a hélice, aumentando assim sua *performance*. Essa tubulação foi instalada pela empresa em quatro navios, gerando uma economia anual de combustível de 550 toneladas por navio, o que equivale a cerca de 1.750 toneladas de CO₂ por navio por ano.

- Tanques de combustível

A Aliança introduziu em todos os navios da classe Santa tanques de combustível protegidos “à bordo”. Isto é, os tanques de combustível passaram a se localizar na parte interior da embarcação. Sendo assim, no caso de um acidente que provoque o rompimento do casco do navio, isso afetará apenas os tanques de água de lastro (externos), e não os tanques de combustível (internos), evitando que combustível seja derramado no mar e prejudique o meio ambiente.

A preocupação da Aliança com a sustentabilidade pode ainda ser demonstrada pela certificação ambiental ISO 14001 que a empresa possui, pela publicação regular de seu catálogo ambiental e pelos vários prêmios que a empresa recebeu, como exemplifica a Tabela 3.

Tabela 3. Prêmios relacionados à sustentabilidade recebidos pela Aliança nos últimos 3 anos.

Ano	Prêmio	Organização
2012	<i>Best Green Service Provider Shipping Line Award</i>	<i>Cargonews Asia</i>
2011	<i>Green Flag Award</i>	<i>Porto de Long Beach</i>
	<i>Air Quality Award</i>	<i>Portos de Long Beach e de Los Angeles</i>
	<i>Gulf Guardian Award</i>	<i>U.S. Environmental Protection Agency</i>
2010	<i>Green Flag Award</i>	<i>Porto de Long Beach</i>

Fonte: site da Aliança.

2.3 Relevância deste trabalho para a Aliança

Considerando tudo que foi explanado, temos que o presente trabalho, que consiste em uma análise comparativa entre o transporte rodoviário e o transporte de cabotagem realizado pela empresa Aliança Navegação e Logística, do ponto de vista da sustentabilidade, trata, de modo geral, de um tema extremamente atual e importante, que é a sustentabilidade na organização.

Ademais, a amostra de políticas e ações ambientais da Aliança apresentada demonstra o comprometimento que a empresa a possui com questões relacionadas à sustentabilidade. Assim, o tema do trabalho é um assunto de real interesse para a Aliança. Além disso, sob a ótica da empresa, se o resultado da análise que será feita mostrar que o transporte de cabotagem é mais vantajoso ambientalmente do que o transporte puro rodoviário, a Aliança poderá utilizar essa informação como argumento de venda para seus clientes (nos transportes vendidos pela empresa sempre há um transporte marítimo, seja ele de longo curso ou cabotagem). No entanto, se o transporte puro rodoviário se mostrar mais vantajoso, a Aliança pode estudar a possibilidade de passar a realizá-lo.

Observação: Em termos de competitividade de custo, costuma-se considerar o transporte rodoviário como o mais vantajoso até uma distância de 400 km, o ferroviário, de 400 a 1500 km e o marítimo, acima de 1500 km (Aliança, 2008).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica a respeito dos tipos de cargas e contêineres existentes, dos transportes marítimo e rodoviário e das características ambientais do transporte de cargas no Brasil e no mundo. Ademais, sua parte final consiste na apresentação e adaptação de quatro métodos de análise ambiental a serem empregados para avaliar os transportes da empresa.

3.1 Tipos de cargas e de contêineres

Denomina-se “carga” a mercadoria que se encontra no processo de transporte. De modo geral, há três tipos de carga, a saber (Pereira, 2003):

- Carga geral → Carga heterogênea, passível de ser contada em unidades. Pode ser acondicionada em uma embalagem específica como caixa, saco, fardo, tambor, engradado, amarrado; ou consistir em volumes sem embalagens como por exemplo veículos, maquinários, blocos de pedra. Se a carga não necessitar ser refrigerada para conservar as qualidades essenciais do produto durante o transporte, é denominada de carga seca, cujos exemplos incluem: veículos, eletrônicos, móveis.
- Carga a granel → Carga homogênea, que não pode ser contada em unidades nem acondicionada em embalagem. Apresenta-se sob a forma líquida, sólida ou gasosa. Exemplos de cargas a granel são: carvão, petróleo, gases, grãos e minérios. A transferência de carga a granel de um modal para outro é normalmente mais simples do que a de cargas gerais, sendo que cargas a granel são frequentemente transportadas em correias, bombeadas de caminhões-tanque para navios, ou sugadas de navios ou caminhões. Cargas a granel são movidas em grandes quantidades, independente do modal que as transporta.
- Carga neo-granel → Envolve o embarque de diferentes tipos de carga a granel ou de conglomerados homogêneos de mercadorias de carga geral sem acondicionamento específico em um mesmo veículo. Como exemplo de embarque de diversos tipos de carga a granel pode-se citar o caso de companhias petrolíferas que usam neo-granel para

transportar diferentes tipos de cargas de petróleo em um único navio. Como exemplo de embarque de conglomerados homogêneos de mercadorias de carga geral sem acondicionamento específico pode-se citar: placas de aço; bananas; sucatas; papel.

Dentro da categorização anterior há cargas que, em decorrência de seus aspectos físico-químicos, são consideradas cargas especiais, necessitando de normas, tratamento, e embalagens diferenciadas. São elas as cargas vivas, frigoríficas e perigosas, descritas a seguir (Biaso, 2006).

- **Carga viva** → Consiste em animais e plantas, que geralmente são transportados pelo modal aéreo, devido ao curto tempo de viagem.
- **Carga frigorífica** → Carga que necessita ser refrigerada para conservar as qualidades essenciais do produto durante o transporte. Exemplos: frutas frescas, pescados, carnes.
- **Carga perigosa** → Carga que, devido à sua natureza, pode causar acidentes, danificando outras cargas e/ou os meios de transporte e/ou colocando a vida das pessoas em risco. Esse tipo de carga subdivide-se nas seguintes classes, definidas com base no tipo de risco que a carga apresenta: I - explosivos, II - gases, III - líquidos inflamáveis, IV - sólidos inflamáveis, V - substâncias oxidantes e peróxidos orgânicos, VI - substâncias tóxicas (venenosas) e substâncias infectantes, VII - materiais radioativos, VIII – corrosivos, IX - mercadorias perigosas diversas.

Ao se falar em tipos de carga, é importante ainda citar a carga conteinerizada, pois, em geral, o transporte intermodal é muito facilitado pela utilização dessas cargas, muito embora a conteinerização não seja propriamente um tipo de carga por si só, posto que qualquer uma das três categorias gerais de carga pode ser transportada em contêineres (Pereira, 2003).

Carga conteinerizada é a carga “embalada” em contêineres; são cargas unitizadas protegidas de intempéries e de roubo, sendo de fácil manuseio ao longo dos diversos modais (Pereira, 2003). A definição de unitização de carga, segundo Keedi e Mendonça (2003), é o processo de agregar volumes fracionados em uma única unidade de carga, mantida inviolável ao longo de todo o percurso do transporte. As formas de unitizar a carga podem ser do tipo pré-lingado, paletizado, contêiner (caso da carga conteinerizada), dentre outras.

A grande vantagem da carga conteinerizada é, como já mencionada, a facilidade de se realizar o transporte intermodal. Como exemplo, pode-se citar os navios oceânicos. O carregamento e o descarregamento de contêineres podem ser feito com a ajuda de guindastes

de terra sem que necessariamente eles sigam para outro modal diretamente. Após a partida do navio, a carga pode ser quebrada em outras menores no próprio porto e transferida para o próximo modal, reduzindo, assim, o tempo do navio no porto e permitindo maior aproveitamento em viagem no mar (Pereira, 2003).

No entanto, existem algumas desvantagens para o uso de contêineres, como seu alto custo de aquisição, aluguel e reparo, bem como sua armazenagem e viagem de retorno. A utilização de contêineres também tem como desvantagem o fato de limitar o tamanho da carga a ser transportada e a necessidade de utilização de equipamentos especiais de alto custo para seu manuseio. Porém, o volume de contêineres transportados simultaneamente é alto, de modo a alcançar economias de escala com a conteinerização (Pereira, 2003).

No que diz respeito ao contêiner propriamente dito, temos a seguinte definição:

“Os contêineres são estruturas padronizadas internacionalmente, com formato retangular, normalmente construídas em aço, podendo ainda ser de alumínio ou fibra, cada uma delas registrada com uma numeração exclusiva composta por quatro letras e sete algarismos.” (Rodrigues, 2003).

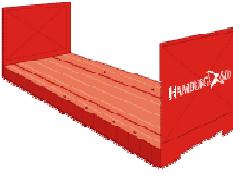
A estrutura e os painéis dos contêineres são construídos com alumínio ou aço, enquanto o piso interno é feito de madeira. As unidades de medida usadas para as dimensões dos contêineres são pés (') e polegadas (''), sendo que 1 pé = 30,48 cm e 1 polegada = 2,54 cm. As medidas dos contêineres sempre se referem às medidas externas dos mesmos (Biaso, 2006).

O comprimento é a medida principal de um contêiner, e é utilizado para sua identificação. No modal marítimo, os comprimentos mais comuns são os contêineres de 20' e de 40'. O termo usado para a movimentação de contêineres é o TEU (*Twenty Equivalent Unit*), no caso da unidade de 20', e o FEU (*Forty Equivalent Unit*), no caso da unidade de 40' (Biaso, 2006).

A largura dos contêineres é padrão, e consiste em 8'. Quanto à altura, os contêineres de 20' possuem 8'6'' de altura, enquanto os contêineres de 40' possuem 8'6'' ou 9'6'' de altura, sendo estes últimos chamados de contêineres *High Cube* (Biaso, 2006).

Os contêineres podem ser construídos de acordo com a necessidade de cada tipo de carga, sendo os principais tipos de contêineres detalhados na Tabela 4.

Tabela 4. Tipos de contêineres.

Tipo de contêiner	Descrição	Figura
<i>Dry</i> (Carga Seca)	Contêiner completamente fechado, utilizado para o transporte de carga seca. Trata-se do contêiner de maior uso, também chamado de contêiner <i>standard</i> para carga não perecível. Os de 20' são recomendados para carga geral seca com alta relação de peso/volume; os de 40', para carga geral seca com média relação de peso/volume e os 40' <i>High Cube</i> para carga geral seca com baixa relação peso/volume.	
<i>Reefer</i> (Refrigerado)	Contêiner projetado para transportar cargas frigoríficas; possui equipamento de refrigeração fixo à unidade para manter a temperatura interna controlada durante todo o tempo em que se encontra com carga.	
<i>Open Top</i>	Contêiner do tipo <i>Dry</i> sem teto, fechado com lonas removíveis. Utilizado para cargas com altura maior que o contêiner ou que apresentam dificuldade de acesso, necessitando ser ovadas através de içamento pela parte superior do contêiner, como tubos de aço, madeiras.	
<i>Flat Rack</i>	Contêiner sem teto e sem laterais, projetado para cargas que não necessitam ser protegidas contra o tempo ou roubo, como bobinas de aço, chapas grossas de aço, peças pesadas.	
<i>Open Side</i>	Contêiner do tipo <i>Dry</i> sem a parte lateral, sendo fechado por lona. Utilizado para cargas que possuem difícil acesso e/ou que possuem largura maior que o contêiner.	

<i>Bulk</i>	Contêiner projetado para cargas a granel, que podem ser ovadas/desovadas através da gravidade, isto é, são ovadas pela parte superior através de aberturas no teto e desovadas pela parte inferior.	
Tanque	Contêiner especial para carregar mercadorias líquidas, podendo ou não ser carga perigosa.	
Ventilado	Contêiner do tipo <i>Dry</i> que possui aberturas para ventilação da carga.	

Fonte: Adaptada de Biaso, 2006.

Em anexo (Anexo I) encontram-se os contêineres utilizados pela Aliança, com suas características técnicas.

3.2 Detalhamento técnico do transporte aquaviário

3.2.1 Embarcações

Conceituação

Navio é um veículo apropriado para a navegação em mares, rios e lagos, e a sua construção obedece às especificações necessárias para sua perfeita flutuabilidade e navegabilidade, sendo planejado para ser utilizado por longo prazo (UFMG-DET, 2007).

Os navios podem ser de vários tamanhos, tipos, finalidades e configurações, adequando-se sempre às especificações necessárias. São propulsionados por motores de grande potência, capazes de impulsionar e locomover embarcações de todos os tamanhos, com dezenas e até centenas de milhares de toneladas. A sua velocidade é variável, sendo a média dos navios em operação de 20/22 nós, com os mais velozes nos mares a cerca de 26 nós (1 nó = 1 milha marítima/hora = 1.853 metros/hora) (UFMG-DET, 2007).

Pode ser utilizado como cargueiro, para transporte de mercadorias de um porto a outro, ou como veículo de turismo, para transporte de passageiros. Sendo cargueiro, ele poderá ser (UFMG-DET, 2007):

- *Gearless* - são navios construídos sem equipamentos próprios para embarques ou desembarques, como guindaste, pau de carga, ponte rolante ou qualquer outro aparelho que possa auxiliá-lo nas operações de carga e descarga, dependendo, portanto, inteiramente dos aparelhos do porto.
- *Self-loading/unloading* ou *Self-sustaining ship* - são navios auto-suficientes, dotados de equipamentos próprios para operação portuária, podendo assim realizar suas próprias operações de carregamento e descarga e não dependendo, desta forma, dos equipamentos do porto. Os navios mais modernos já não são mais, normalmente, construídos com estes guindastes, operando apenas com os equipamentos portuários, liberando o seu espaço, bem como a sua capacidade em peso, apenas para o transporte de carga.

Dimensões características

Em termos de dimensões, caracterizam um navio (UFMG-DET, 2007):

- Comprimento (*length*): vai do espelho de popa (parte traseira) ao bico de proa (parte dianteira);
- Boca (*beam*): maior distância entre os costados ou laterais do barco;
- Pontal: altura fixa entre o fundo do navio e seu convés principal (*deck*);
- Calado (*depth*): distância vertical entre a superfície da água - linha de flutuação ou linha-d'água - e a parte mais baixa da embarcação – a quilha ou então algum ponto mais baixo, como o domo do sonar, por exemplo.

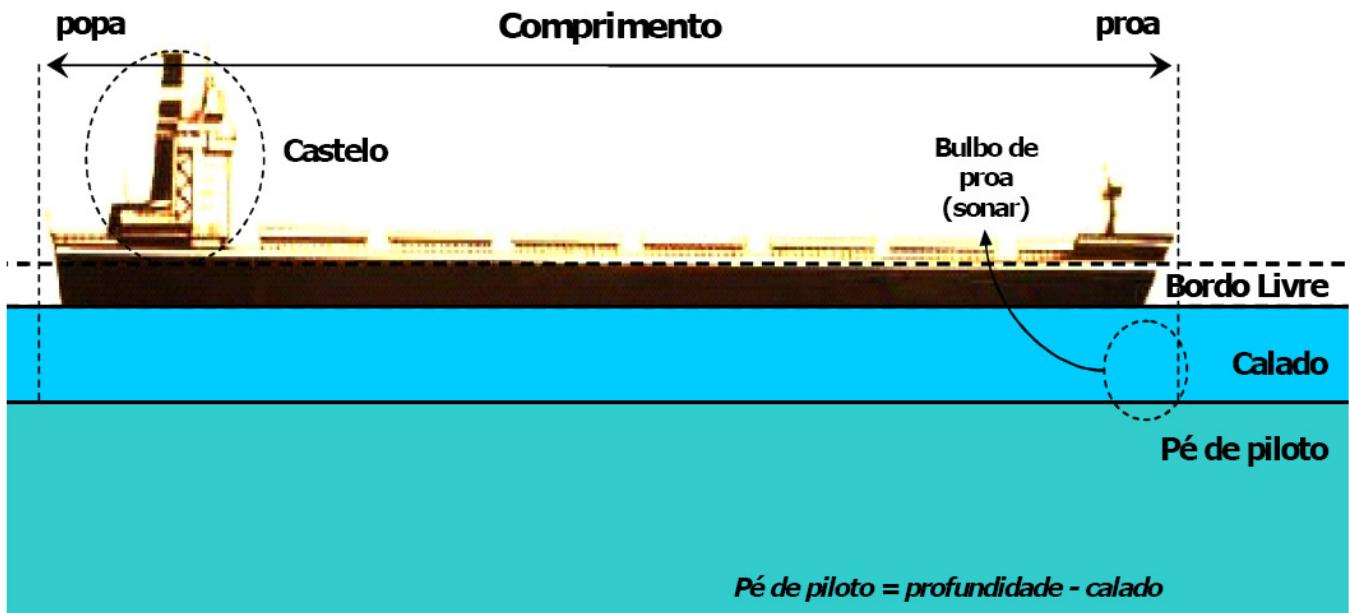


Figura 9. Dimensões e pontos característicos de uma embarcação. Adaptada de UFMG-DET, 2007.

Tipos de Navios

No que concerne a navios cargueiros, há os seguintes tipos de navios (UFMG-DET, 2007):

- *General Cargo Ship* (navio de carga geral)

São navios convencionais, destinados ao transporte de carga geral seca, normalmente embalada e transportada em volumes individuais ou unitizada. São divididos em *decks* (*deck* é a estrutura que subdivide horizontalmente o navio) e porões, sendo normal que possuam 3 ou

4 *decks* com 3, 4 ou 5 porões cada, podendo ter, assim, entre 9 e 20 compartimentos independentes para acondicionamento de carga. São do tipo mais antigo, sem nenhuma especialização, que servem para transportar qualquer tipo de carga geral, exceto frigorífica.

A capacidade volumétrica deste tipo de navio é medida em pés cúbicos, ou metros cúbicos, sendo ela dependente do espaço em pés cúbicos ou metros cúbicos ocupado pela carga.



Figura 10. Navio BEZA, exemplo de navio de carga geral.

- *Reefer Vessel* (navio frigorífico)

É um tipo de navio semelhante ao convencional para cargas secas, com as mesmas divisões em *decks* e porões sendo, porém, os seus porões, devidamente equipados com maquinários para refrigeração. Apropriado para transporte de cargas que exigem controle de temperatura tal como carnes, sucos, frutas, verduras, laticínios. Seus diversos porões podem ter controles de temperatura diferentes, possibilitando o transporte simultâneo de cargas que necessitam de temperatura específica. Quanto à sua capacidade, seguem os mesmos princípios dos navios de carga geral.



Figura 11. Navio SCALIA FRIGO, exemplo de navio frigorífico.

- *Bulk Carrier* (graneleiros)

Consistem em navios especializados no transporte de carga sólida a granel. Nesta categoria colocamos produtos como soja, milho, açúcar, minérios, fertilizantes.



Figura 12. Navio *SABRINA I*, exemplo de navio graneleiro.

- *Tanker* (navio-tanque)

Navio especialmente construído para o transporte de carga líquida a granel, com divisões em porões, permitindo que, em caso de problemas em alguns dos porões, seja possível evitar maiores danos e continuar o transporte com os produtos nos demais compartimentos. Este tipo de navio não tem a divisão em *decks*, sendo seus porões contínuos.



Figura 13. Navio *AbQaiq*, exemplo de navio-tanque.

- *Roll-On Roll-Off* (Ro-Ro)

Este é um tipo de navio próprio para o transporte de veículos. Os embarques ou desembarques se dão através de rampas próprias do navio, que fazem parte de seu casco, podendo estas estar na popa (parte traseira do navio), na proa (frente do navio), ou ainda nas laterais.



Figura 14. Rampa de navio Ro-Ro.

- *Full Container Ship* (navio porta-contêiner)

É um tipo de navio especializado no transporte de contêineres, comportando todos os tipos como *dry*, *reefer*, tanque, dentre outros. Os locais para acomodação de carga são denominados baias, que são numeradas a partir da proa para a popa. Cada baia abrange a largura total do navio, ou seja, de bombordo a boreste (estibordo). As baias são divididas em colunas, formadas por células guias e compostas por várias camadas, que indicam a altura dos contêineres embarcados.

A coordenada encontrada pelas baias, colunas e camadas é denominada *slot*, determinando a posição e localização do contêiner no navio. As baias podem ser definidas e construídas com capacidade para acomodação de contêineres de 20' e 40', sendo que o *slot* de 40' permite a colocação de dois contêineres de 20'.

Abaixo do *deck* principal são empilhados, normalmente, 6 ou 7 contêineres. Acima do *deck* principal são empilhados 4 ou 5 contêineres. A capacidade de carga deste tipo de navio é medida em TEU, que equivale, como já mencionado, a um contêiner de 20'. Por isso se diz

que o navio tem capacidade para "N" TEU, ou seja, "N" contêiner de 20', sendo que um contêiner de 40' é considerado 2 TEU.

A Figura 15 apresenta um esquema de um navio com 12 baias que acomoda 7 contêineres empilhados abaixo do *deck* principal e 4 contêineres empilhados acima dele, enquanto a Figura 16 mostra a foto do navio “ALIANÇA MAUÁ”, um exemplo de navio porta-contêiner.

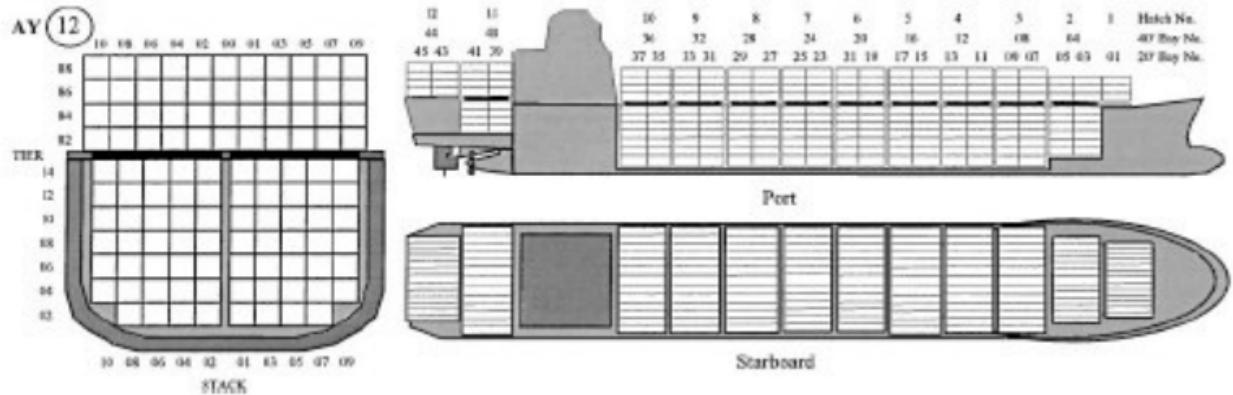


Figura 15. Esquema de navio porta-contêiner. WILSON e ROACH (2000).



Figura 16. Navio ALIANÇA MAUÁ, exemplo de navio porta-contêiner.

- *Multi-Purpose Ship (navio multicarga)*

Navios versáteis, destinados ao transporte de carga com características de diversos outros tipos de navios como os convencionais, frigoríficos, Ro-Ro, porta-contêineres, podendo transportar as mais variadas cargas simultaneamente, como carga geral, carga frigorífica, *pallets*, veículos em geral, contêineres.



Figura 17. Navio *NORMAND MERMAID*, exemplo de navio multicarga.

- LASH - *Lighter Aboard Ship* (navios porta-barcaças)

São navios especiais, com capacidade para o transporte de barcaças. No porto de origem, as barcaças são carregadas ao largo (à distância do navio), por guindastes especiais de bordo, e descarregadas também à distância, no porto de destino. Assim, operam em portos onde sua entrada é restrita em virtude da pouca profundidade do porto.

No entanto, como toda a operação pode dar-se ao largo, dispensando a atracação do navio no porto e a utilização de guindastes portuários, pode-se utilizar esse tipo de embarcação também em portos cujos calados lhe permitam a entrada. Dessa maneira, pode-se fugir dos congestionamentos portuários ou evitar a perda de tempo da entrada ou saída do navio no porto. Esses tipos de embarcações podem transportar qualquer tipo de mercadoria que possa ser acomodada nas barcaças



Figura 18. Navio *RHINE FOREST*, exemplo de navio porta-barcaça.

- SEABEE (*Sea Barge*)

Navio provido de elevador submersível e *deck* aberto, que transporta barcaças embarcadas ao largo, com capacidade para movimentar barcaças de grande porte. Apresenta as mesmas características dos navios LASH sendo, portanto, uma embarcação que pode operar longe do porto. Pode converter-se em navio porta-contêiner.



Figura 19. Navio SS CAPE MOHICAN, exemplo de navio SEABEE.

Capacidades de Carga

Como capacidade dos navios se quer dizer as toneladas que podem ser deslocadas (UFMG-DET, 2007):

- Deslocamento Bruto (*gross displacement*): significa o peso total que pode ser deslocado pelo navio, ou seja, peso do navio (casco + motor + equipamentos), equipagem (tripulação + pertences), combustível e carga.
- Deslocamento Líquido (*net displacement*): é o peso total deslocado somente pelo navio (casco + motor + equipamentos).
- Toneladas de Porte: pode ser dividida da seguinte maneira:
 - Toneladas de porte bruto (tpb/tdw): corresponde à diferença entre o deslocamento bruto e o líquido, ou seja, o que pode ser transportado em carga, combustível e equipagem.
 - Toneladas de porte líquido: significa o peso da carga que pode ser transportada.
 - Tonelagem de porte operacional: significa a diferença entre a tonelagem de porte bruto e a de porte líquido, ou seja, o peso da equipagem + combustível.

3.2.2 Terminais portuários

Tipologia

Os terminais portuários (portos) são as instalações em que o modal aquaviário pode ser acessado, e nas quais se realiza a interface desse modal com os modais terrestres (UFMG-DET, 2007). Conforme o corpo d'água em que se situam, recebem a seguinte classificação:

- Terminais marítimos: situados em área de mar;
- Terminais fluviais: construídos nas margens de um rio ou a elas ligados;
- Terminais lacustres: implantados nas margens de um lago ou a elas vinculados.

No caso de portos destinados ao comércio, conforme os produtos neles manuseados, temos quatro tipos: portos de carga geral, terminais de granéis líquidos e gasosos, terminais de granéis sólidos e terminais de contêineres (UFMG-DET, 2007).

Áreas de um porto

Normalmente um porto é composto por três áreas consecutivas (Figura 20), a saber (UFMG-DET, 2007)::

- Anteporto: área no corpo d'água que é adjacente ao porto, formada por fundeadouro de espera e canal de acesso;
- Porto: porto propriamente dito, com ancoradouro, bacia de evolução, berços e faixa do cais;
- Retroporto: área terrestre circunvizinha, onde se situam armazéns, edifícios de administração e serviços, instalações das modalidades terrestres de acesso, como vias e pátios ferroviários e rodoviários, e instalações auxiliares, como rede e subestações de energia elétrica, canalizações e caixas d'água potável, linhas físicas de telecomunicações, estação de tratamento de esgotos.

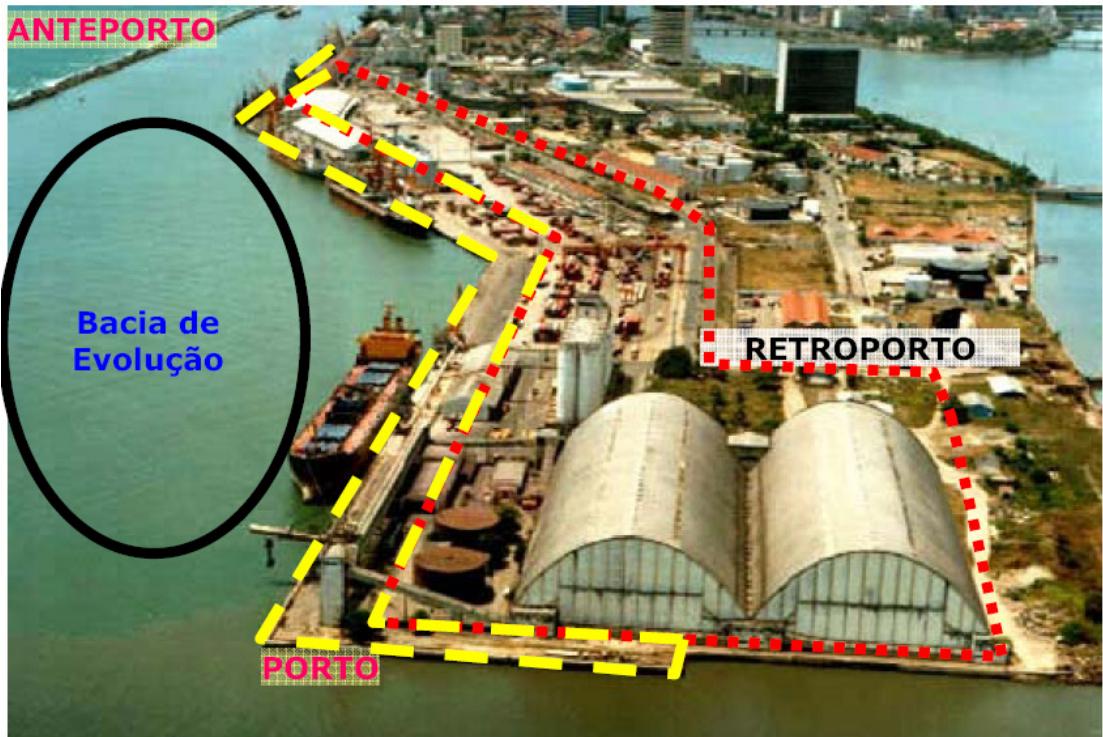


Figura 20. Áreas de um porto. UFMG-DET, 2007.

Operações portuárias

Desde a chegada da embarcação ao acesso portuário até sua saída do mesmo, geralmente se processam as seguintes operações (UFMG-DET, 2007):::

1. Recepção do aviso de chegada do navio por comunicação via rádio à administração do porto;
2. Execução da praticagem (serviço de auxílio oferecido aos navegantes por meio do envio do prático, profissional habilitado pela Marinha que possui amplo conhecimento das águas em que atua), seguida da condução da embarcação ao interior do porto, com ou sem rebocagem;
3. Inspeção pelos representantes dos órgãos de controle do cumprimento das exigências legais por parte do navio;
4. Manobra de aproximação na bacia de evolução;
5. Atração ao berço designado;
6. Preparação da operação de carga ou descarga;
7. Operação de movimentação da carga;
8. Preparação para o zarpe;
9. Liberação do navio para o zarpe pela Capitania;

10. Desatracação;
11. Praticagem e rebocagem, se necessária, para saída do porto.

3.3 Detalhamento técnico do transporte rodoviário

3.3.1 Pesos de veículos rodoviários

O CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito) limita o peso máximo por eixo que pode ser carregado pelos veículos, pois quanto maior a força que os pneus aplicam sobre a camada de asfalto, maior será a degradação do mesmo. Essas limitações de peso, juntamente com limitações das dimensões dos veículos, encontram-se na “Lei da Balança”, estabelecida pelo CONTRAN. Em seu artigo 81 estão as dimensões autorizadas para transporte de carga rodoviária, enquanto em seu artigo 82 estão os pesos máximos permitidos por tipo de composição de veículos.

São utilizados os seguintes conceitos relacionados ao peso dos veículos rodoviários:

- Tara: peso do veículo descarregado, porém com todos os equipamentos necessários ao serviço que irá operar. Para efeito de cálculo, deve-se pesar o veículo nas condições acima mencionadas, acrescido do peso do motorista e de $\frac{3}{4}$ de combustível no tanque;
- Peso útil: peso total da carga a ser transportada de uma única vez por um determinado veículo;
- Lotação: peso útil máximo;
- Peso bruto total (PBT): peso útil + tara de um veículo unitário;
- PBT máximo: lotação + tara;
- Peso bruto total combinado (PBTC): peso útil + soma das taras das unidades da composição de veículos;
- PBTC máximo: lotação + soma das taras.

3.3.2 Tipos de veículos rodoviários

Os veículos destinados ao transporte rodoviário de carga podem ser de vários tipos, dentre os quais se destacam os caminhões, as carretas, o bitrem e o rodotrem, todos detalhados a seguir. As informações foram obtidas de Coelho (2010) e CONTRAN (2007).

Caminhões

Caminhões são veículos fixos, monoblocos, formados por uma única parte que incorpora a cabine, o motor e o compartimento de carga (carroceria).

Os caminhões podem ser de três tipos, descritos na Tabela 5.

Tabela 5. Tipos de caminhões.

Tipo de caminhão	Descrição	PBT máximo	Comprimento máximo	Figura
Veículo Urbano de Carga (VUC)	De menor porte, mais apropriado para áreas urbanas.	10 t	6,3 m	
Toco ou caminhão semi-pesado	Possui eixo simples na carroceria, ou seja, possui um eixo frontal e outro traseiro de rodagem simples.	16 t (6+10)	14 m	
Truck ou caminhão pesado	Tem eixo duplo (dois eixos juntos) na carroceria, objetivando carregar maior carga e proporcionar melhor desempenho ao veículo. Um dos eixos traseiros deve necessariamente receber a força do motor.	23 t (6+17)	14 m	

Carretas

Carretas são veículos compostos por duas partes. Uma delas, denominada cavalo mecânico, possui o motor, as rodas de tração e a cabine do motorista, sendo um veículo automotor destinado a tracionar ou arrastar outros veículos. A outra, chamada semi-reboque, é um veículo de um ou mais eixos localizados na parte traseira, que se apoia no cavalo mecânico ou é a ele ligado por meio de articulação. O semi-reboque é destinado para acomodar a carga.

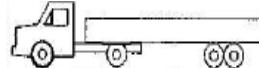
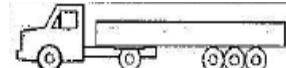
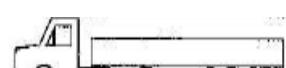
Quanto ao cavalo mecânico, há dois tipos, detalhados na Tabela 6.

Tabela 6. Tipos de cavalo mecânico.

Tipo de cavalo mecânico	Descrição	Figura
Cavalo mecânico simples	Conjunto formado pela cabine, motor e rodas de tração, com eixo simples ou, em outras palavras, com um total de 2 eixos.	
Cavalo mecânico trucado	Apresenta o mesmo conceito do cavalo mecânico simples, porém dele se diferencia por possuir eixo duplo em seu conjunto, para poder carregar mais peso. Isto é, em outras palavras, possui um total de 3 eixos.	

No que diz respeito às configurações das carretas, alguns exemplos encontram-se na Tabela 7.

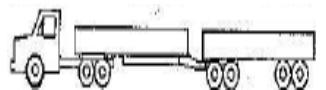
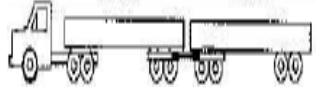
Tabela 7. Tipos de carretas.

Tipo de carreta	Descrição	PBTC máximo	Comprimento máximo	Figura
Carreta 2 eixos	Utiliza um cavalo mecânico simples e um semi-reboque com 2 eixos.	33 t (6+10+17)	18,60 m	
Carreta 3 eixos	Utiliza um cavalo mecânico simples e um semi-reboque com 3 eixos.	41,5 t (6+10+25,5)	18,60 m	
Carreta cavalo trucado	Utiliza um cavalo mecânico trucado e um semi-reboque com 3 eixos.	48,5 t (6+17+25,5)	18,60 m	

Bitrem e rodotrem

O bitrem e rodotrem são composições de veículos formadas por três partes, e encontram-se descritos na Tabela 8.

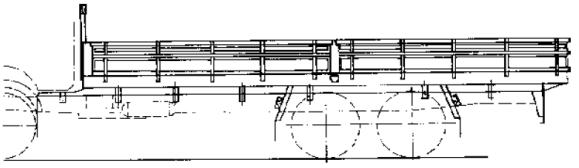
Tabela 8. Bitrem e rodotrem.

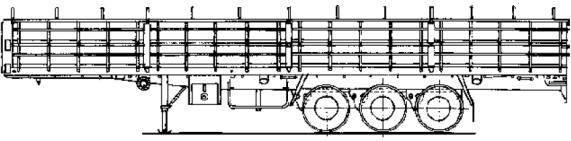
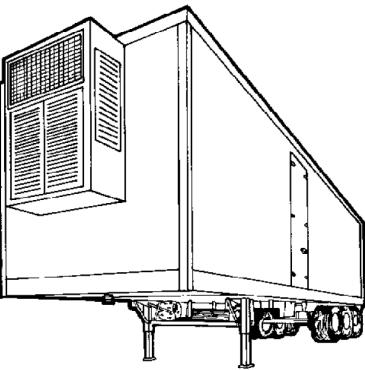
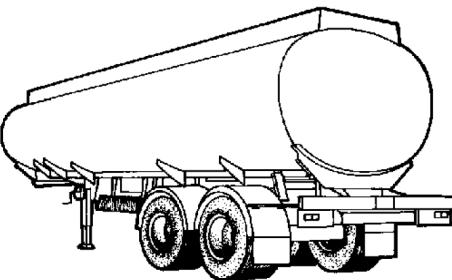
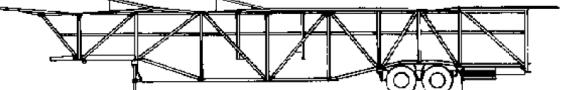
Tipo	Descrição	PBTC máximo	Comprimento máximo	Figura
Bitrem	Composição que possui um total de 7 eixos, formada por um cavalo mecânico trucado e por dois semi-reboques de 2 eixos cada.	57 t (6+17+17+17)	19,8 m	
Rodotrem	Composição que possui um total de 9 eixos, formada por um cavalo mecânico trucado e dois semi-reboques de 2 eixos cada, sendo que estes semi-reboques são interligados por um equipamento intermediário denominado <i>dolly</i> , que também possui 2 eixos .	74 t (6+17+17+17+17)	30 m	

3.3.3 Tipos de compartimentos de carga de veículos rodoviários

Os compartimentos de carga mencionados no presente tópico (carrocerias e semi-reboques) podem ser de vários tipos, dependendo do tipo de carga que transportam. Dentre os principais, podemos citar os descritos na Tabela 9 (ABNT, 2006).

Tabela 9. Tipos de compartimento de carga.

Tipo de compartimento de carga	Descrição	Tipo de carga que transporta	Figura
Aberto geral	Compartimento sem teto, com grades laterais, frontais e traseiras.	Carga seca em caixas, sacarias, enlatados.	

Graneleiro	Compartimento sem teto, com grades laterais, frontais e traseiras. Geralmente coberto com lona.	Granel sólido	
Baú – carga geral	Compartimento fechado (com teto rígido), em que a acomodação e retirada de carga se realizam por meios humanos ou mecânicos, tais como empilhadeira.	Carga seca	
Baú – frigorífico	Compartimento fechado (com teto rígido), em que a acomodação e retirada de carga se realizam por meios humanos ou mecânicos, tais como empilhadeira. Possui equipamento de refrigeração.	Carga frigorífica	
Tanque	Compartimento fechado (com teto rígido), específico para o transporte de líquidos cujo carregamento e descarga se dão por gravidade ou para gases cujo carregamento e descarga se dão por pressão.	Granel líquido ou gasoso	
Cegonheira	Compartimento sem teto construído de forma especial para acomodação e transporte de veículos.	Veículos	
Porta-contêiner	Semi-reboque destinado ao transporte de contêiner.	Conteineres	

Fonte: ABNT, 2006.

3.4 Cenário do transporte de cargas no Brasil e no mundo sob enfoque ambiental

3.4.1 Características gerais - Brasil

De acordo com Hijjar e Lobo (2011), o setor de transportes é apontado como o terceiro maior poluidor no Brasil e no mundo, atrás apenas da Mudança no Uso da Terra e das Indústrias, sendo que o modal rodoviário contribui com a maior parte dos gases lançados pela atividade de transportes na atmosfera brasileira. Em 2010, por exemplo, o modal rodoviário foi responsável por 88,6% dessas emissões, como mostra a Figura 21.

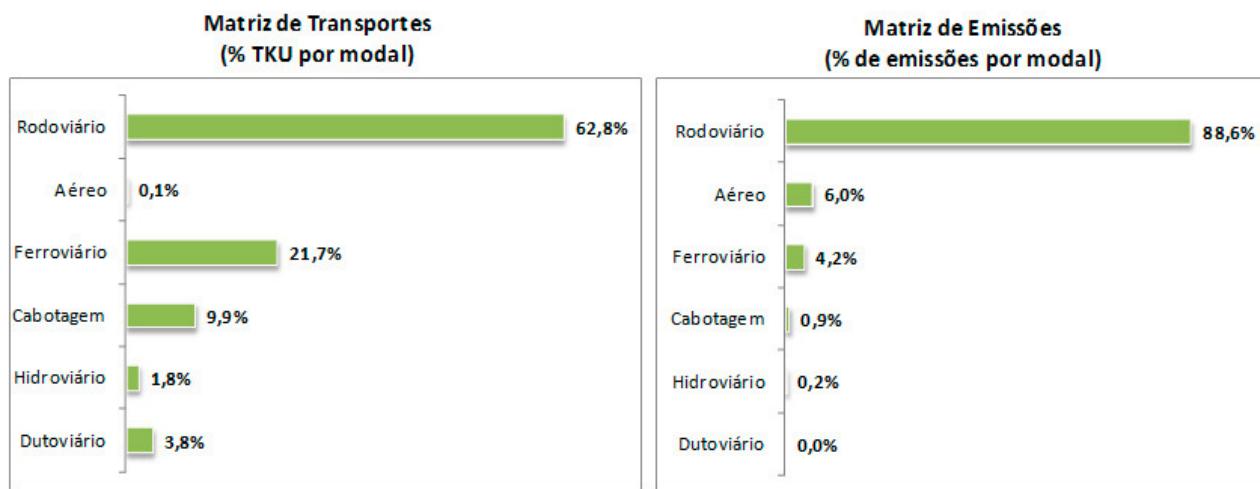


Figura 21. Matrizes de Transportes e de Emissões – Brasil 2010. ILOS, 2010.

No que diz respeito a aspectos como eficiência energética, consumo de combustível, emissão de NOx e emissão de CO₂ dos modais rodoviário, ferroviário e hidroviário, temos os gráficos 2, 3, 4 e 5 abaixo, referentes aos transportes efetuados no Brasil em 2006. Por meio deles, podemos perceber que o modal rodoviário apresenta os piores índices entre os três tipos de modal considerados.

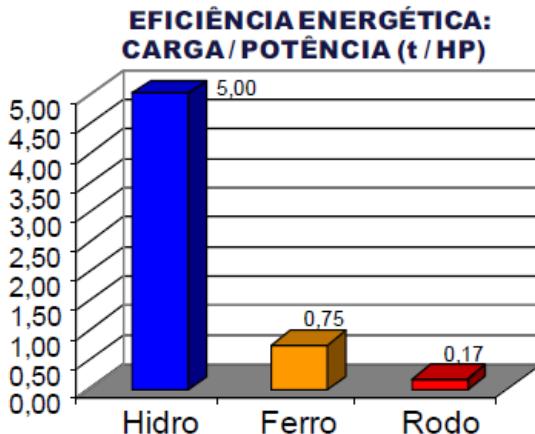


Gráfico 2. Eficiência energética dos modais. Ribeiro, 2010.

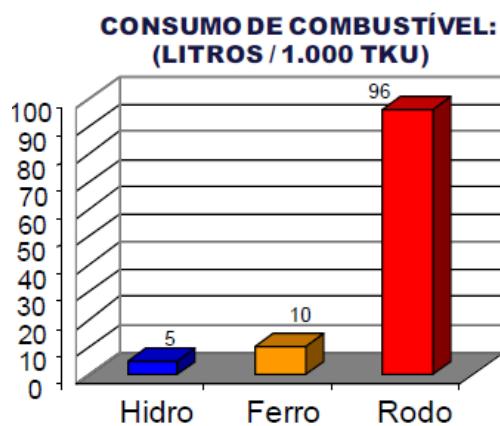


Gráfico 3. Consumo de combustível dos modais. Ribeiro, 2010.

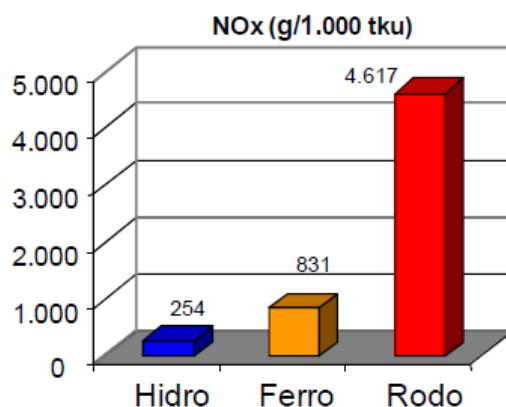


Gráfico 4. Emissão de NOx dos modais. Ribeiro, 2010.

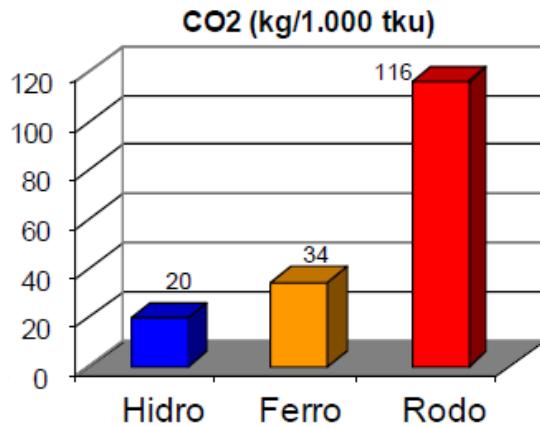


Gráfico 5. Emissão de CO2 dos modais. Ribeiro, 2010.

Finalmente, analisando o perfil do consumo de energia no setor de transportes brasileiro ao longo dos anos, temos os gráficos 6 e 7 a seguir, nos quais 1 tep = 1 tonelada equivalente de petróleo = cerca de 42GJ.

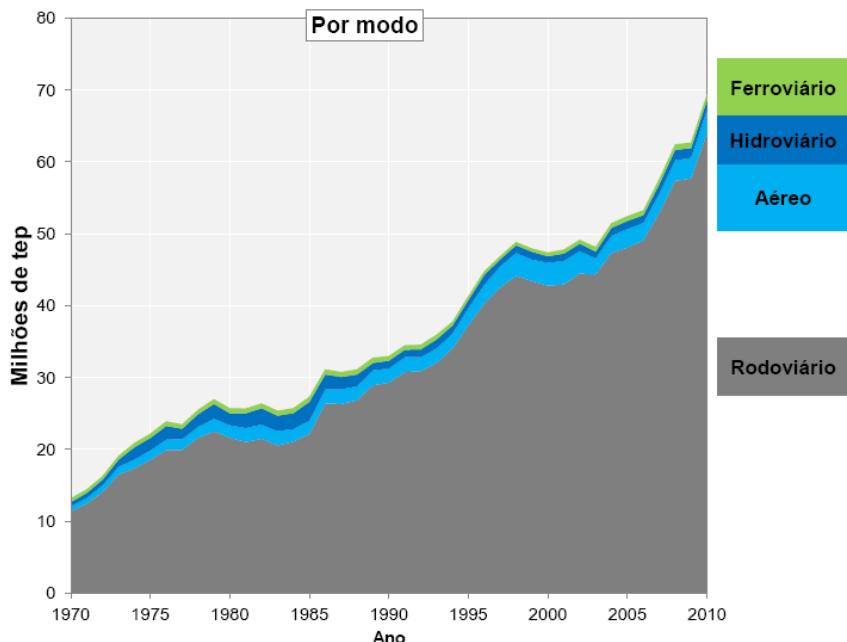


Gráfico 6. Perfil do uso de energia por modal. Fonte: MME, 2011.

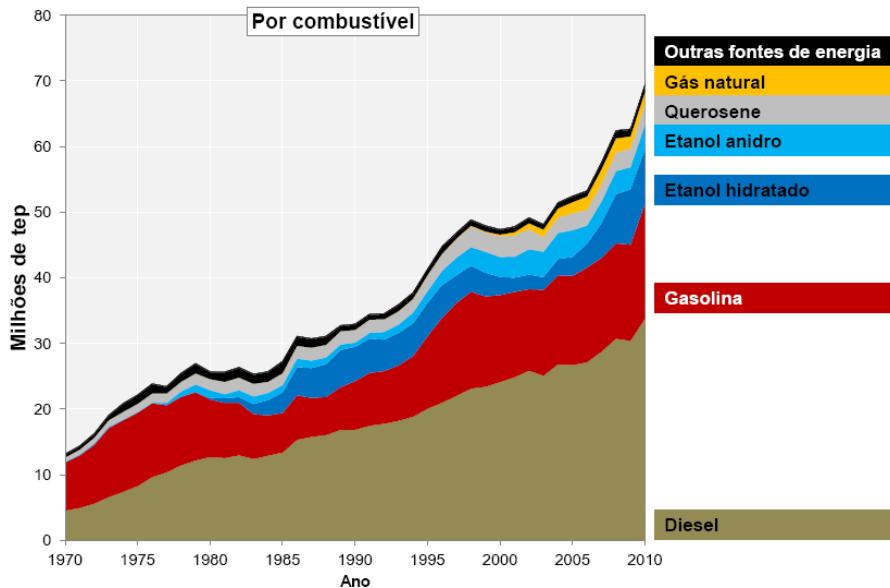


Gráfico 7. Perfil do uso de energia por modal. Fonte: MME, 2011.

3.4.2 Características gerais - Mundo

Quanto ao cenário mundial, de acordo com Asoke, Paul, Mahesh (2011) o World Economic Forum estimou que, em 2009, o setor de logística teve uma pegada de carbono de cerca de 2.800 mega-toneladas de CO₂. Em termos relativos, o transporte rodoviário possui o maior *share*, cerca de 57% do total, seguido pelo transporte marítimo (17%). A Figura 22 mostra quanto cada atividade logística e cada tipo de transporte contribuem para o total das emissões de logística.



Figura 22. Emissões de carbono (em mega-toneladas) do setor logístico em 2009. Asoke, Paul, Mahesh, 2011

3.4.3 Particularidades do modal rodoviário - Brasil

Segundo Hiijar e Lobo (2011) no que diz respeito ao transporte rodoviário, sua representatividade nas emissões de GEE (gases de efeito estufa) tem levado o governo federal e as empresas a investirem em sustentabilidade ambiental, criando leis, intensificando a fiscalização e lançando novas tecnologias. Um exemplo é a utilização de asfalto ecológico na pavimentação de rodovias, como a dos Imigrantes, em São Paulo. A adição de borracha de pneus à massa asfáltica produz um asfalto 40% mais resistente que o convencional, além de reduzir o ruído e melhorar a aderência dos veículos à pista. É importante que a precariedade da infraestrutura rodoviária brasileira seja sanada, pois a mesma tem impacto negativo nas emissões de GEE e de poluentes na atmosfera. Quanto maior a qualidade do pavimento rodoviário, menor a variação de velocidade e o tempo da viagem, reduzindo o nível de emissão de GEE. Segundo Bartholomeu (2006) as emissões caem entre 0,01% e 0,2% em rodovias com melhores condições de pavimentação.

No entanto, conforme Hiijar e Lobo (2011) ainda que o asfalto seja ecológico e esteja em perfeitas condições, é importante que a frota rodoviária contribua também para a redução na emissão de poluentes. Para isso, é necessário alterar o tipo do motor e o diesel utilizado. Em 2011, o Brasil chegou a uma frota de 1,4 milhão de caminhões, com idade média de cerca de 13 anos. Mais poluente que os demais modelos, os motores Pré-Euro (fabricados antes da aplicação das normas europeias que estipulam limites de emissão para os motores) impulsionavam, em 2009, 40% da frota nacional. Na Europa, no mesmo ano, apenas 26% dos caminhões utilizavam o Pré-Euro, sendo que o Euro IV (modelo menos poluente na época) movimentava 16% da frota europeia (vide Figura 23).

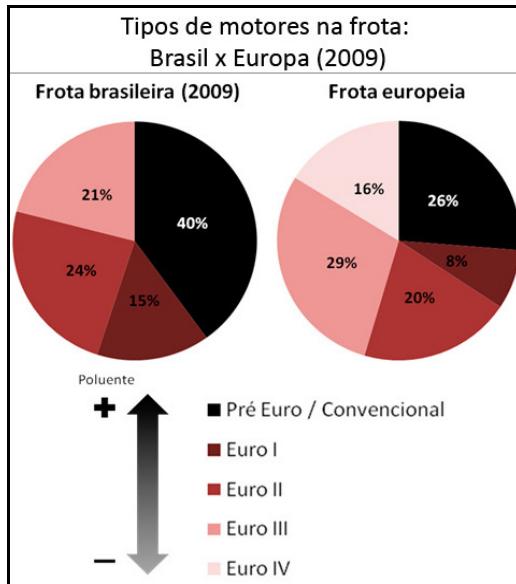


Figura 23. Tipos de motores na frota – Brasil X Europa 2009. ILOS, 2011.

Visando alterar o perfil da frota a diesel brasileira, o Governo Federal instituiu, em 1986, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). Através dele, o governo exige dos fabricantes motores menos poluentes e cobra das empresas produtoras de combustíveis reduções de emissões tóxicas. Segundo o calendário do PROCONVE, a partir de janeiro de 2012, todos os caminhões a diesel produzidos no Brasil deveriam sair de fábrica com o motor Euro V, modelo menos poluente atualmente, e as distribuidoras de combustíveis também deveriam oferecer o diesel S50, cuja concentração máxima de enxofre é de 50ppm. Para 2013, a programação é que os postos já recebam o diesel S10 (com concentração máxima de enxofre de 10 ppm), ainda menos poluente. Segundo estatísticas da ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotivos), a renovação da frota com o uso do motor Euro V e diesel S50 resultaria em um potencial de redução de poluentes de até 34%. (Hijjar e Lobo, 2011).

No entanto, um dos problemas do PROCONVE será o aumento nos custos das transportadoras. A expectativa é de que a nova frota de caminhões chegue com preços de 8% a 15% maiores. O novo diesel também deverá ter um custo maior e vai exigir ainda o uso de um reagente para fazer funcionar o sistema de pós-tratamento de gases dos motores Euro V. (Hijjar e Lobo, 2011).

Além do diesel com menor concentração de enxofre, as distribuidoras também vêm investindo no biodiesel. Desde 1º de janeiro de 2010, o óleo diesel comercializado no Brasil contém 5% de biodiesel e a tendência é que esse percentual cresça nos próximos anos. O

consumo do combustível com 5% de biodiesel é quase igual ao do diesel comum, mas com menos emissão de poluentes. (Hijjar e Lobo, 2011).

3.5 Métodos para avaliação quantitativa dos impactos ambientais causados pelos transportes marítimo e rodoviário

Foram encontrados na literatura quatro métodos de medição quantitativa dos impactos ambientais causados por transportes marítimos e rodoviários considerados interessantes para serem aplicados ao caso estudado. Esses métodos, já com as adaptações feitas de modo a adequá-los à situação em análise, estão descritos nos próximos itens.

3.5.1 Método para calcular a pegada de carbono dos transportes marítimo e rodoviário - professores da Universidade de Westminster, UK

Pegada de carbono de um transporte marítimo

Em pesquisa na literatura a respeito de um método para o cálculo das emissões de GEE referentes ao transporte de carga marítimo foi encontrada, em Leonardi e Browne (2009) uma metodologia adequada ao objetivo deste trabalho. Os autores propõem um procedimento para calcular a pegada de carbono (quantidade total das emissões de GEE) de um transporte de carga marítimo e aplicam-no para casos reais de transportes de frutas (maçãs) e móveis. O transporte de frutas é realizado entre Nova Zelândia, Ásia e Europa, enquanto o de móveis, entre Brasil e Europa.

Primeiramente, os autores definem como principais indicadores aqueles relacionados à emissão de GEE, a saber:

- Intensidade de emissões de GEE em gCO₂e/kg: gramas de CO₂ equivalente emitidos por um quilograma de produto transportado (gCO₂e/kg). É a pegada de carbono por quilograma de produto transportado.
- Intensidade de emissões de GEE em gCO₂e/tkm: gramas de CO₂ equivalente emitidos por tonelada-quilometro (gCO₂e/tkm). É a pegada de carbono por tonelada-quilometro.

Os autores também mencionam como relevantes indicadores sobre a eficiência energética relacionada ao consumo de energia no transporte, a saber:

- Eficiência energética em gep/kg: gramas de petróleo equivalente consumidos por um quilograma de produto transportado (gep/kg).
- Eficiência energética em gep/tkm: gramas de petróleo equivalente consumidos por tonelada-quilometro (gep/tkm).

É válido mencionar que quando se fala em “gramas de CO₂ equivalente” leva-se em consideração o potencial de aquecimento global de todos os GEE liberados no transporte, isto é, a expressão representa a quantidade de CO₂ que seria produzida se todos os GEE fossem emitidos como esse gás.

Em seguida, os autores estabelecem uma lista de informações necessárias para a aplicação do modelo, que se encontram a seguir.

- Itinerário do navio: porto de origem, portos intermediários, porto de destino.
- Tempo da viagem: dias no mar, dias nos portos.
- Distância percorrida na viagem.
- Informações sobre o navio: tipo do navio, consumo de combustível por dia no mar e nos portos, velocidade do navio. No caso de navio porta-contêiner, capacidade nominal (em TEU).
- Informações sobre a carga: no caso de navio porta-contêiner, fator de carga do navio (em porcentagem da capacidade nominal), média de peso da carga (kg) em um TEU. No caso de navio graneleiro, quantidade de carga transportada (kg).
- Informações sobre o combustível: tipo de combustível, fator de conversão de energia do combustível, fator de conversão de emissões do combustível. Um exemplo a respeito das informações sobre o combustível, utilizado no estudo de caso pelos autores, encontra-se na Tabela 10.

Tabela 10. Informações sobre o combustível HFO tipo ISO 380.

Combustível	Litros	= kg	Fator de conversão de energia (= gep)	Fator de conversão de emissões (= gCO ₂ e)
HFO (Heavy Fuel Oil tipo ISO 380)	1	1	952	3553*

Fonte: Leonardi e Browne, 2009.

* Observação: Esse fator considera tanto a combustão do HFO como alguns efeitos indiretos de emissões gerados pela indústria ao levar o HFO às estações de abastecimento. Considerando apenas a combustão, esse fator seria de 3153 gCO₂e/kg.

Os autores então apresentam fórmulas para o cálculo dos indicadores mencionados, fórmulas estas que são ligeiramente diferentes entre si e que estão detalhadas na seqüência.

Para navios porta-contêineres, temos os seguintes indicadores:

$$Ie1 = (((Cm*Dm) + (Cp*Dp))*1000*Femi)/(Cmax*L*Q)$$

$$Ie2 = Ie1*1000/Dist$$

$$Ee1 = (((Cm*Dm) + (Cp*Dp))*1000*Fene)/(Cmax*L*Q)$$

$$Ee2 = Ee1*1000/Dist$$

Ie1 = intensidade de emissões de GEE em gCO₂e/kg

Ie2 = intensidade de emissões de GEE em gCO₂e/tkm

Ee1 = eficiência energética em gep/kg

Ee2 = eficiência energética em gep/tkm

Cm = quantidade de combustível consumido por dia no mar (t/dia)

Cp = quantidade de combustível consumido por dia nos portos (t/dia)

Dm = número de dias de viagem no mar

Dp = número de dias nos portos

Cmax = capacidade nominal do navio (TEU)

L = fator de carga do navio (em % de Cmax)

Q = média de peso da carga em um TEU (kg)

Femi = fator de conversão de emissões do combustível (gCO₂e/kg)

Fene = fator de conversão de energia do combustível (gep/kg)

1000 = fator de transformação de unidades

Dist = distância percorrida na viagem (km)

É válido notar que Dm pode ser calculado da seguinte forma:

$$Dm = (\text{Dist}/V)/24$$

V = velocidade média do navio (km/h)

24 = fator de transformação de unidades

Para navios graneleiros, por sua vez, os indicadores são:

$$Ie1 = (((Cm*Dm) + (Cp*Dp))*1000*Femi)/Q'$$

$$Ie2 = Ie1 * 1000/\text{Dist}$$

$$Ee1 = (((Cm*Dm) + (Cp*Dp))*1000*Fene)/Q'$$

$$Ee2 = Ee1 * 1000/\text{Dist}$$

Q' = carga do navio (kg)

Por fim, os autores apresentam os casos reais nos quais foi aplicado o modelo. A seguir serão apresentados dois desses casos, a título de exemplificar a utilização do método.

O primeiro caso consistiu em uma viagem do porto de Nelson (Nova Zelândia) ao porto de Felixstowe (Grã-Bretanha), com transbordos nos portos de Auckland (Nova Zelândia) e Pelabuhan (Malásia). Os três navios utilizados foram do tipo porta-contêiner, sendo que os produtos focalizados pelo estudo foram frutas (maçãs). A viagem encontra-se esquematizada na Figura 24.

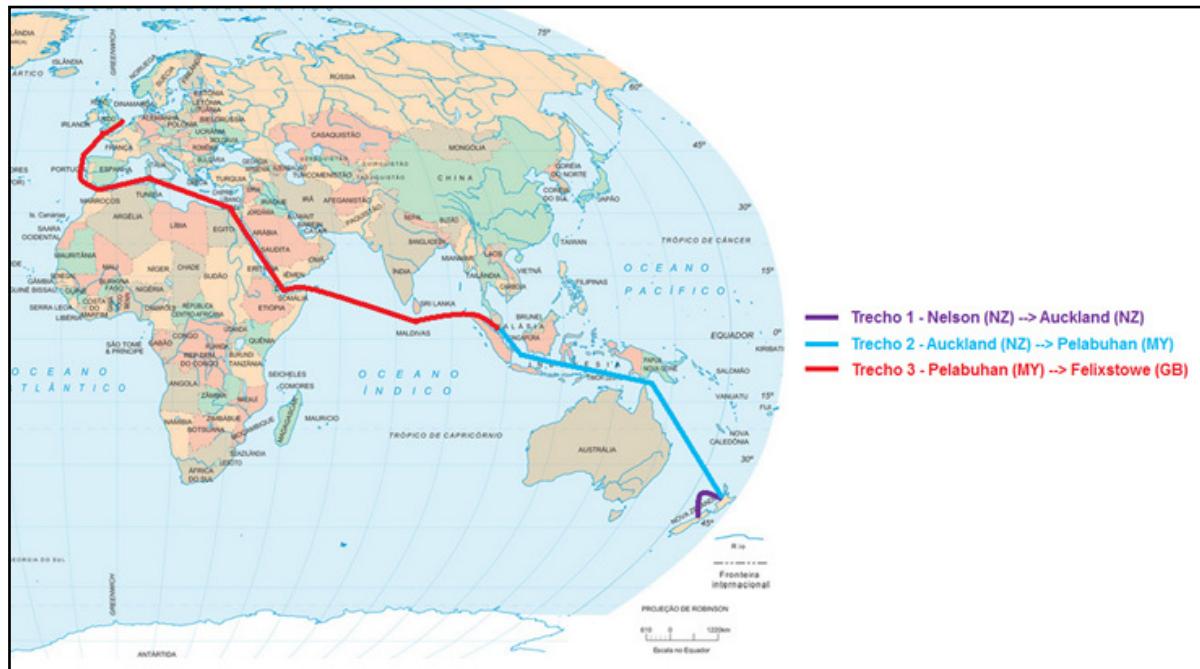


Figura 24. Caso 1 - Transporte com transbordos entre os portos de Nelson (NZ) e Felixstowe (GB). Adaptada de Leonardi e Browne, 2009.

O segundo caso, por sua vez, consistiu em uma viagem direta do porto de Nelson (Nova Zelândia) ao porto de Sheerness (Grã-Bretanha), com utilização de navio graneleiro. Os produtos focalizados pelo estudo foram, novamente, as frutas (maçãs), sendo que a viagem encontra-se esquematizada na Figura 25.

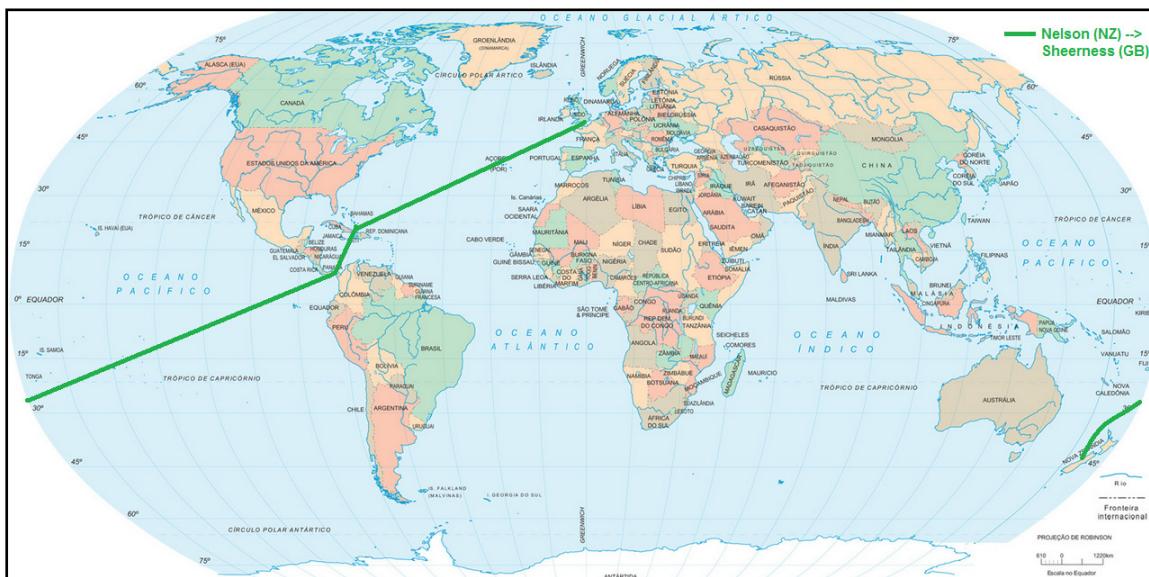


Figura 25. Caso 2 - Transporte direto entre os portos de Nelson (NZ) e Sheerness (GB). Adaptada de Leonardi e Browne, 2009.

A aplicação do modelo para os casos em questão encontra-se detalhada na Tabela 11.

Tabela 11. Exemplos de aplicação do modelo de cálculo de pegada de carbono proposto por Leonard e Browne para o transporte marítimo de carga.

Caso	1 – Viagem com transbordos e navios porta-contêiner				2 – Viagem direta com navio graneleiro
Produto	Frutas (maçãs)				Frutas (maçãs)
Tipo de navio	Porta-contêiner				Graneleiro
Tipo de linha	Linha afluente	Linha oceânica	Linha oceânica	- (Viagem total)	Linha oceânica
Nome do navio observado	<i>Spirit of Resolution</i>	<i>Maersk Dunafare</i>	<i>Maersk Kuantan</i>		Não informado
Origem	Nelson (NZ)	Auckland (NZ)	Pelabuhan (MY)	Nelson (NZ)	Nelson (NZ)
Destino	Auckland (NZ)	Pelabuhan (MY)	Felixtowe (GB)	Felixtowe (GB)	Sheerness (GB)
Distância (Dist)	1.172 km	9.440 km	15.142 km	25.754 km (1.172 + 9.440 + 15.142)	21.039 km
Capacidade nominal (Cmax)	379 TEU	4.112 TEU	6.200 TEU		
Fator de carga (L)	60%	60%	60%		
Média de peso da carga em um TEU (Q)	10.000 kg	10.000 kg	10.000 kg		
Peso total da carga (Cmax*L*Q, para porta-contêiner, ou Q', para graneleiro) [1]	2.274.000 kg	24.672.000 kg	37.200.000 kg		6.259.000 kg
Qtd de combustível/dia no mar (Cm)	28 t/dia	160 t/dia	246 t/dia		41,5 t/dia
Qtd de combustível/dia no porto (Cp)		13 t/dia	16 t/dia		2,5 t/dia
Velocidade média do navio (V)	9,8 nós = 18,1 km/h	16,3 nós = 30,2 km/h	17,3 nós = 32 km/h		17,5 nós = 32,4 km/h
Dias no mar (Dm = (Dist/V)/24)	2,7 dias	13 dias	19,7 dias	35,4 dias (2,7 + 13 + 19,7)	27 dias
Dias no porto (Dp)		6 dias	2,7 dias	8,7 dias (6 + 2,7)	6,5 dias
Consumo total de combustível (((Cm*Dm) + (Cp*Dp))*1000) [2]	75.600 kg	2.158.000 kg	4.889.400 kg	7.123.000 kg (75.600 + 2.158.000 + 4.889.400)	1.136.750 kg
Fator de conversão de emissões (Femi)	3.553 gCO2eq/kg	3.553 gCO2eq/kg	3.553 gCO2eq/kg	3.553 gCO2eq/kg	3.553 gCO2eq/kg

Fator de conversão de energia (Fene)	952 gep/kg	952 gep/kg	952 gep/kg	952 gep/kg	952 gep/kg
Total de emissões ($[2]*\text{Femi}$) [3]	$268,6 \cdot 10^6$ gCO ₂ e	$7.391 \cdot 10^6$ gCO ₂ e	$17.219 \cdot 10^6$ gCO ₂ e	$24.878 \cdot 10^6$ gCO ₂ e	$4.039 \cdot 10^6$ gCO ₂ e
Total de energia ($[2]*\text{Fene}$) [4]	$72 \cdot 10^6$ gep	$2.058 \cdot 10^6$ gep	$4.657 \cdot 10^6$ gep	$6.787 \cdot 10^6$ gep	$1.082 \cdot 10^6$ gep
Intensidade de emissões de GEE por kg (Ie1 = [3]/[1])	118 gCO ₂ e/kg	300 gCO ₂ e/kg	463 gCO ₂ e/kg	881 gCO ₂ e/kg (118 + 300 + 463)	636 gCO ₂ e/kg
Intensidade de emissões de GEE por tkm (Ie2 = Ie1*1000/Dist)	101 gCO ₂ e/tkm	33 gCO ₂ e/tkm	31 gCO ₂ e/tkm	35 gCO ₂ e/tkm	31 gCO ₂ e/tkm
Eficiência energética por kg (Ee1 = [4]/[1])	31,6 gep/kg	83,4 gep/kg	125,2 gep/kg	240,3 gep/kg (31,6 + 83,4 + 125,2)	173 gep/kg
Eficiência energética por tkm (Ee2 = Ee1*1000/Dist)	27 gep/tkm	8,8 gep/tkm	8,3 gep/tkm	9,3 gep/tkm	8,2 gep/tkm

Fonte: Adaptada de Leonardi e Browne, 2009.

A comparação entre os dois casos é finalmente dada pelo resumo apresentado na Tabela 12.

Tabela 12. Comparação entre os casos estudados por Leonardi e Browne.

Caso	1 – Viagem com transbordos e navios porta-contêiner (total)	2 – Viagem direta com navio graneleiro	Comparação
Produto	Frutas (maçãs)	Frutas (maçãs)	
Tipo de navio	Porta-contêiner	Graneleiro	
Origem	Nelson (NZ)	Nelson (NZ)	
Destino	Felixtowe (GB)	Sheerness (GB)	
Distância (Dist)	25.754 km	21.039 km	-18%
Dias no mar (Dm)	35,4 dias	27 dias	-24%
Dias no porto (Dp)	8,7 dias	6,5 dias	-25%
Intensidade de emissões de GEE por kg (Ie1)	881 gCO ₂ e/kg	636 gCO ₂ e/kg	-28%
Intensidade de emissões de GEE por tkm (Ie2)	35 gCO ₂ e/tkm	31 gCO ₂ e/tkm	-12%
Eficiência energética por kg (Ee1)	240,3 gep/kg	173 gep/kg	-28%
Eficiência energética por tkm (Ee2)	9,3 gep/tkm	8,2 gep/tkm	-12%

Fonte: Adaptada de Leonardi e Browne, 2009.

Pegada de carbono de um transporte rodoviário

Os autores do modelo anterior propõem, em outro artigo (Rizet *et al.*, 2008), um método análogo para o cálculo da pegada de carbono de um transporte rodoviário, que necessita das seguintes informações:

- Informações sobre a rota: cidade origem, cidade destino, distância entre elas, se há retorno do veículo vazio ou não.
- Informações sobre o veículo: tipo de veículo, consumo de combustível por quilometro.
- Peso da carga transportada
- Informações sobre o combustível: tipo de combustível, fator de conversão de energia do combustível, fator de conversão de emissões do combustível. Um exemplo a respeito das informações sobre o combustível (diesel), utilizado no artigo pelos autores, encontra-se na Tabela 13.

Tabela 13. Informações sobre o diesel.

Combustível	Litros	= kg	Fator de conversão de energia	Fator de conversão de emissões (= gCO2e)
Diesel	1	0,845	845 gep/L 1000 gep/kg	2951* gCO2e/L 3492* gCO2e/kg

Fonte: Rizet *et al.*, 2008

* Observação: Esse fator considera tanto a combustão do diesel como alguns efeitos indiretos de emissões gerados pela indústria ao levar o diesel às estações de abastecimento.

O modelo matemático para o cálculo encontra-se detalhado abaixo.

$$Ie1 = (C*D*E*Femi)/Q$$

$$Ie2 = Ie1 * 1000/D$$

$$Ee1 = (C*D*E*Fene)/Q$$

$$Ee2 = Ee1 * 1000/D$$

Ie1 = intensidade de emissões de GEE em gCO₂e/kg

Ie2 = intensidade de emissões de GEE em gCO₂e/tkm

Ee1 = eficiência energética em gep/kg

Ee2 = eficiência energética em gep/tkm

C = consumo de combustível do veículo (l/km)

D = distância percorrida entre a cidade origem e a cidade destino (km)

E = fator de retorno de vazio (1-sem viagem de retorno de vazio; 2-com viagem de retorno de vazio)

Q = carga transportada (kg)

Femi = fator de conversão de emissões do combustível (gCO₂e/l)

Fene = fator de conversão de energia do combustível (gep/l)

1000 = fator de transformação de unidades

3.5.2 Metodologia *top-down* para contabilização das emissões de CO₂ por queima de combustível – IPCC

A metodologia *top-down* para medição das emissões de CO₂ destina-se a calcular as emissões de CO₂ advindas do setor energético de um país, do qual faz parte o setor de transportes. Proposta pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), foi adaptada para a realidade brasileira pelo MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia) em seus relatórios de inventários de emissões antrópicas de gases de efeito estufa realizados em 2006 e em 2010, sendo o de 2010 utilizado como referência para este trabalho. No entanto, visto que a metodologia foi desenvolvida visando o cálculo de emissões de um país, serão feitas adaptações para o caso em estudo, que trata de transportes pontuais de carga. Essas adaptações serão explicitadas no decorrer da apresentação do método. É válido ressaltar que esse modelo estima as emissões de CO₂ baseando-se na quantidade de combustível consumido e nos fatores médios de emissão dos combustíveis, sem levar em consideração o detalhamento de como se dá o consumo da energia. Isto é, não considera aspectos tecnológicos envolvidos, somente o tipo de combustível utilizado.

O método *top-down* pode ser dividido em cinco partes, descritas a seguir com as modificações pertinentes.

1) Determinação do consumo aparente de combustível

Esta etapa do método faz sentido somente no âmbito do consumo de combustível de um país, visto que estabelece como consumo aparente de determinado combustível a quantidade desse combustível disponível no país. Sendo assim, levando em conta o fato de que o presente trabalho de formatura visa analisar transportes pontuais de carga, essa etapa será modificada na metodologia a ser utilizada no trabalho. Isto é, o consumo aparente de combustível (CAC) será nada mais do que a quantidade de combustível consumida no transporte analisado, medida em sua unidade física original (ex: m³, L, t).

Apenas a título de apresentação, o consumo aparente anual de um combustível em um país (CAp) é calculado da seguinte forma:

$$CAp = \alpha + \beta - \chi - \delta - \varepsilon$$

CAp = consumo aparente anual do combustível, medido em unidade original

α = produção anual doméstica de energia primária, medida em unidade original

β = importação anual de energia primária e secundária, medida em unidade original

χ = exportação anual de energia primária e secundária, medida em unidade original

δ = energia anualmente embarcada em *bunkers* internacionais (combustível fornecido às empresas de transporte aéreo para o transporte internacional), medida em unidade original

ε = variação anual dos estoques de energia, medida em unidade original

2) Conversão do consumo aparente para uma unidade de energia comum

O consumo aparente de combustível (CAC) deve ser convertido de sua unidade física (m³, L, t) para uma unidade de energia comum (TJ). Primeiramente, no entanto, deve ser convertido de sua unidade física para tep, de acordo com os fatores de conversão estabelecidos na Tabela 14. Assim, com 1 tep = 41,868*10⁻³ TJ (MME 2011), pode-se realizar a conversão completa.

Em termos de fórmulas, temos que o consumo de energia (CE) é dado por:

$$CE = CAC * Fconvtep * 41,868 * 10^{-3}$$

CE = consumo de energia (TJ)

CAc = consumo aparente de combustível (unidade física)

Fconvtep = fator de conversão de unidade física para tep (tep/unidade física), listados na Tabela 14

$41,868 \times 10^{-3}$ = fator de conversão de 1 tep para TJ

Tabela 14. Coeficientes de Equivalência Médios para Combustíveis.

		Unidade física	Coeficiente de equivalência (tep/unidade física)
Combustíveis líquidos	Petróleo (<i>Oil</i>)	m ³	0,890
	Óleo diesel (<i>Diesel oil</i>)	m ³	0,848
	Óleo combustível (<i>Fuel oil</i>)	m ³	0,959
	Gasolina automotiva (<i>Motor Gasoline</i>)	m ³	0,770
	Gasolina de aviação (<i>Aviation gasoline</i>)	m ³	0,763
	GLP (<i>LPG</i>)	m ³	0,622
	Nafta (<i>Naphtha</i>)	m ³	0,765
	Querosene iluminante (<i>Lighting kerosene</i>)	m ³	0,822
	Querosene de aviação (<i>Jet fuel</i>)	m ³	0,822
	Álcool etílico anidro (<i>Anhydrous alcohol</i>)	m ³	0,534
	Álcool etílico hidratado (<i>Hydrated alcohol</i>)	m ³	0,510
	Gás de refinaria (<i>Refinery gas</i>)	m ³	0,655
	Coque de petróleo (<i>Petroleum coke</i>)	m ³	0,873
	Outros energéticos de petróleo (<i>Other energy oil products</i>)	m ³	0,890
	Asfaltos (<i>Asphalt</i>)	m ³	1,018
	Lubrificantes (<i>Lubrificants</i>)	m ³	0,891
	Solventes (<i>Solvents</i>)	m ³	0,781
	Outros não energéticos de petróleo (<i>Other non-energy oil products</i>)	m ³	0,890
Combustíveis gasosos	Gás natural úmido (<i>Humid natural gas</i>)	dam ³	0,993
	Gás natural seco (<i>Dry natural gas</i>)	dam ³	0,880
	Gás de coqueira (<i>Gas coke</i>)	dam ³	0,430
	Gás canalizado Rio de Janeiro (<i>Gaswork gas Rio de Janeiro</i>)	dam ³	0,380
	Gás canalizado São Paulo (<i>Gaswork gas São Paulo</i>)	dam ³	0,450
Combustíveis sólidos	Carvão vapor 3100 kcal/kg (<i>Steam coal 3100 kcal/kg</i>)	t	0,295
	Carvão vapor 3300 kcal/kg (<i>Steam coal 3300 kcal/kg</i>)	t	0,310
	Carvão vapor 3700 kcal/kg (<i>Steam coal 3700 kcal/kg</i>)	t	0,350
	Carvão vapor 4200 kcal/kg (<i>Steam coal 4200 kcal/kg</i>)	t	0,400
	Carvão vapor 4500 kcal/kg (<i>Steam coal 4500 kcal/kg</i>)	t	0,425
	Carvão vapor 4700 kcal/kg (<i>Steam coal 4700 kcal/kg</i>)	t	0,445
	Carvão vapor 5200 kcal/kg (<i>Steam coal 5200 kcal/kg</i>)	t	0,490
	Carvão vapor 5900 kcal/kg (<i>Steam coal 5900 kcal/kg</i>)	t	0,560
	Carvão vapor 6000 kcal/kg (<i>Steam coal 6000 kcal/kg</i>)	t	0,570
	Carvão vapor sem especificação (<i>Non-specified steam coal</i>)	t	0,285
	Carvão metálgico nacional (<i>National metallurgical coal</i>)	t	0,642
	Carvão metálgico importado (<i>Imported metallurgical coal</i>)	t	0,740
	Lenha (<i>Firewood</i>)	t	0,310
	Caldo de cana (<i>Cane juice</i>)	t	0,062
	Melaço (<i>Molasses</i>)	t	0,185
	Bagaço de cana (<i>Sugar-cane bagasse</i>)	t	0,213
	Lixívia (<i>Black Liquor</i>)	t	0,286
	Coque de carvão mineral (<i>Coal coke</i>)	t	0,690
	Carvão vegetal (<i>Charcoal</i>)	t	0,646
	Alcatrão (<i>Tar</i>)	t	0,855

Fonte: Adaptada de MME, 2011.

3) Transformação da energia consumida em conteúdo de carbono

A energia consumida (CE) deve agora ser multiplicada pelo fator de emissão de carbono do combustível (FE). Fatores de emissão de carbono para diversos combustíveis

encontram-se listados na Tabela 15. O conteúdo de carbono (QtdC) presente no combustível será então calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{QtdC} = \text{CE} * \text{FE}$$

QtdC = conteúdo de carbono (tC)

CE = consumo de energia (TJ)

FE = fator de emissão de carbono (tC/TJ), listados na Tabela 15.

Tabela 15. Fatores de emissão de carbono (tC/TJ).

Fósseis - Líquidos	Primários	Petróleo	20,0
		Líquidos de Gás Natural	17,2
	Secundários	Gasolina Automotiva	18,9
		Gasolina de Aviação	19,5
		Querosene de Aviação	19,5
		Querosene Iluminante	19,6
		Óleo Diesel	20,2
		Óleo Combustível	21,1
		GLP	17,2
		Nafta	20,0
		Asfalto	22,0
		Lubrificantes	20,0
		Solventes	20,0
		Coque de Petróleo	27,5
		Gás de Refinaria	18,2
		Outros Produtos Secundários de Petróleo	20,0
		Outros Produtos Não Energéticos de Petróleo	20,0
Fósseis - Sólidos	Primários	Carvão Metalúrgico	25,8
		Carvão Vapor	25,8
	Secundários	Alcatrão	25,8
		Coque de Carvão Mineral	29,5
Fósseis - Gasosos	Primários	Gás Natural Seco	15,3
Outras Primárias Fósseis			20,0
Biomassa - Sólida		Lenha para Queima Direta	28,9
		Lenha para Carvoejamento	28,9
		Bagaço de Cana	27,0
		Resíduos Vegetais	29,9
		Carvão Vegetal	29,1
Biomassa - Líquida		Caldo de Cana	20,0
		Melaço	20,0
		Álcool Anidro	18,8
		Álcool Hidratado	18,8
		Lixívia	23,9
Biomassa - Gasosa			30,6

Fonte: MCT, 2010a

4) Determinação do conteúdo de carbono efetivamente oxidado na combustão

Nem todo o conteúdo de carbono (QtdC) presente em um combustível é oxidado, devido ao fato de a combustão raramente ser completa. Dessa forma, parte do carbono deixa de ser oxidado, incorporando-se às cinzas ou a demais subprodutos. Sendo assim, deve-se corrigir os valores de QtdC considerando a combustão incompleta do combustível, de modo a computar a quantidade de carbono realmente oxidada (QtdCox). Para tal, multiplica-se o conteúdo de carbono presente no combustível pela fração de carbono oxidado na combustão (FCox, listadas na Tabela 16), conforme a fórmula abaixo.

$$\text{QtdCox} = \text{QtdC} * \text{FCox}$$

QtdCox = quantidade de carbono oxidado (tC)

QtdC = conteúdo de carbono (tC)

FCox = fração de carbono oxidado (adimensional), listadas na Tabela 16

Tabela 16. Frações de carbono oxidado.

Fósseis - Líquidos	Petróleo	0,99
	Líquidos de Gás Natural	0,99
	Gasolina Automotiva	0,99
	Gasolina de Aviação	0,99
	Querosene de Aviação	0,99
	Querosene Iluminante	0,99
	Óleo Diesel	0,99
	Óleo Combustível	0,99
	GLP	0,99
	Nafta	0,99
	Asfalto	0,99
	Lubrificantes	0,99
	Solventes	0,99
	Coque de Petróleo	0,99
	Gás de Refinaria	0,99
	Outros Produtos Secundários de Petróleo	0,99
	Outros Produtos Não Energéticos de Petróleo	0,99
Fósseis - Sólidos	Carvão Metalúrgico	0,98
	Carvão Vapor	0,98
	Alcatrão	0,99
	Coque de Carvão Mineral	0,98
Fósseis - Gasosos	Gás Natural	0,995
Outras Primárias Fósseis		0,98
Biomassa-Sólida	Lenha para Queima Direta	0,97
	Lenha para Carvoejamento	0,975
	Bagaço de Cana	0,98
	Resíduos Vegetais	0,98
	Carvão Vegetal	0,98
Biomassa-Líquida	Caldo de Cana	0,97
	Melaço	0,98
	Álcool Anidro	0,98
	Álcool Hidratado	0,98
	Lixivia	0,98

Fonte: MCT, 2010a.

Observação: na metodologia *top-down* original proposta pelo IPCC e utilizada por MCT, 2010a há uma etapa intermediária entre os passos 3 e 4 apresentados anteriormente. No entanto, essa etapa só faz sentido se considerada no âmbito de um país, visto que leva em conta o fato de que alguns combustíveis são usados para fins não energéticos (como matéria-prima na fabricação de plásticos, fertilizantes) Assim, essa etapa consiste em descontar do conteúdo de carbono do combustível (QtdC) a parte de carbono que fica estocada devido a esses usos não energéticos. Visto que o presente trabalho de formatura analisará transportes pontuais de carga, nos quais todo o combustível é utilizado para gerar energia aos transportes, essa etapa não será considerada no método *top-down*.

5) Conversão da quantidade de carbono oxidado em emissões de CO₂

Dado que em 44 t de CO₂ há 12 t de C, pode-se converter a quantidade de carbono oxidado (QtdCox) em emissões de CO₂ (ECO₂) multiplicando-a pela razão 44/12, conforme a fórmula abaixo:

$$\text{ECO}_2 = \text{QtdCox} * 44/12$$

ECO₂ = emissões de CO₂ (tCO₂)

QtdCox = quantidade de carbono oxidado (tC)

44/12 = fator de conversão (adimensional)

3.5.3 Metodologia *bottom-up* para contabilização das emissões de gases por queima de combustível – IPCC

A metodologia *bottom-up*, assim como a *top-down*, foi apresentada pelo IPCC e adequada à realidade brasileira pelo MCT, nos mesmos relatórios de inventário mencionados, destinando-se a calcular as emissões de diversos gases devido à queima de combustíveis. Além disso, foi utilizada em 2011 pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) para a elaboração do Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários.

Esse método difere-se do *top-down* pois considera, além do tipo de combustível, a forma como este é consumido, sendo capaz de segregar as emissões por setor. Assim, no caso do setor de transportes, o método *bottom-up* engloba fatores como: modal de transporte, tipo

de veículo, tipo de combustível, tecnologia de controle de emissões. O modelo geral de emissões do setor de transportes pode ser descrito pela equação abaixo.

$$E_i = F_E i a b c * Atividade i a b c$$

E = emissões do gás i

FE = fator de emissão do gás i

Atividade = quantidade de energia consumida ou distância percorrida em determinado transporte

i = gás (CO, NMHC, NOx, dentre outros)

a = tipo de combustível (óleo combustível, gasolina, óleo diesel, dentre outros)

b = tipo de veículo (navio, automóvel, caminhão leve, caminhão pesado, dentre outros)

c = controle de emissão

A seguir a metodologia *bottom-up* será descrita separadamente para o modal rodoviário e marítimo, conforme dados encontrados na literatura (MMA, 2011 e MCT, 2010b, respectivamente) e adaptações feitas para o caso estudado no presente trabalho de formatura.

- *Bottom-up* para transporte rodoviário

O método pode ser descrito em seis passos, detalhados na seqüência.

1) Determinação do tipo de combustível (a) e do tipo de veículo (b) utilizados no transporte

De acordo com o MMA (2011) a frota brasileira de veículos pode ser categorizada conforme a Tabela 17.

Tabela 17. Categorização da frota de veículos.

Categorias	Motor/Combustível	Definição
Automóveis	Otto/Gasolina C Otto/Etanol Hidratado Otto/Flex Fuel Otto/GNV	Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, exclusive o condutor
Veículos Comerciais leves	Otto/Gasolina C Otto/Etanol Hidratado Otto/Flex Fuel Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de pessoas ou carga, com peso bruto total de até 3.500 kg
Motocicletas	Otto/Gasolina C Otto/Flex Fuel	Veículo automotor de duas rodas, com ou sem side-car, dirigido em posição montada
Caminhões leves ($3,5t < PBT^3 < 10t$)		
Caminhões médios ($10t \leq PBT < 15t$)	Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroceria, e PBT superior a 3.500 kg
Caminhões pesados ($PBT \geq 15t$)		
Ônibus urbanos	Diesel	Veículo automotor de transporte coletivo
Ônibus rodoviários		

Fonte: MMA, 2011.

Visto que o presente trabalho analisará o transporte de carga em determinada rota feito pela Aliança, e o PBT dos transportes da Aliança é superior a 3.500 kg, o veículo utilizado (b) estará entre os tipos caminhão leve, médio ou pesado, e o combustível (a) será o diesel. Doravante, portanto, em prol da concisão do trabalho, serão apresentados dados relativos apenas a esses tipos de veículos e ao combustível diesel.

2) Determinação do controle de emissão (c)

O Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), citado no item 3.4.3. deste trabalho, obriga os veículos automotores a respeitarem certos limites de emissão de poluentes, contribuindo para induzir o desenvolvimento tecnológico dos fabricantes de combustíveis, motores e autopeças de modo a atender os limites estabelecidos. O cumprimento dessas exigências é feito por meio de ensaios padronizados, homologação de protótipos, acompanhamento estatístico em veículos novos produzidos, recolhimento ou reparo de veículos e motores encontrados em desconformidade, e proibição da comercialização de modelos de veículos não homologados. Para veículos a diesel, há sete fases do PROCONVE, detalhadas na Tabela 18.

Tabela 18. Fases do PROCONVE.

Fase	Implantação	Característica / Inovação
P1 e P2	1990-1993	Já em 1990 estavam sendo produzidos motores com níveis de emissão menores que aqueles que seriam requeridos em 1993 (ano em que teve início o controle de emissão para veículos deste tipo com a introdução das fases P1 e P2). Nesse período, os limites para emissão gasosa – fase P1 – e material particulado (MP) – fase P2 – não foram exigidos legalmente
P3	1994-1997	O desenvolvimento de novos modelos de motores visaram a redução do consumo de combustível, aumento da potência e redução das emissões de NO _x por meio da adoção de intercooler e motores turbo. Nesta fase se deu uma redução drástica das emissões de CO (43%) e HC (50%)
P4	1998-2002	Reduziu ainda mais os limites criados pela fase P3
P5	2003-2008	Teve como objetivo a redução de emissões de MP, NO _x e HC
P6	2009-2011	Em janeiro de 2009 deveria ter se dado o início à fase P6, conforme Resolução CONAMA nº 315 de 2002, e cujo objetivo principal, assim como na fase P5, era a redução de emissões de MP, NO _x e HC
P7	A partir de 2012	Resolução CONAMA nº 403 de 2008 introduz uma fase que demanda sistemas de controle de emissão pós-combustão (catalisadores de redução de NO _x e/ou filtros de MP)

Fonte: MMA, 2011.

Dessa forma, os veículos a diesel poderão possuir sete tipos de tecnologia de controle de emissão (c), a saber: Pré-PROCONVE, P1, P2, P3, P4, P5, ou P7 (a fase P6 não foi implantada).

3) Determinação dos gases a serem analisados (i)

As emissões gasosas a serem consideradas no presente trabalho (i) serão as contempladas por MMA (2011) emissões estas reguladas pelo PROCONVE no que concerne a veículos a diesel e listadas a seguir.

- Monóxido de carbono (CO): resulta da combustão incompleta do carbono contido no combustível, podendo causar problemas respiratórios.
- Hidrocarbonetos não metano (NMHC): também decorrentes da combustão incompleta do combustível, abrangem toda a gama de substâncias orgânicas presentes *in natura* nos combustíveis, bem como subprodutos orgânicos derivados da combustão, exceto o metano. São substâncias precursoras da formação de ozônio (O₃) no nível troposférico.
- Óxidos de nitrogênio (NO_x): grupo de gases altamente reativos, compostos por nitrogênio (N) e oxigênio (O) em quantidades variadas. Também são precursores da formação de ozônio (O₃) no nível troposférico.

4) Cálculo do fator de emissão em kgpoluente/TJ (FEkgpoluente/TJ)

Os fatores de emissão dos gases CO, NMHC e NOx em kgpoluente/TJ podem ser calculados da seguinte forma:

$$FEkgpoluente/TJ = Fegpoluente/kWh * 277,7$$

FEkgpoluente/TJ = fator de emissão em kg de poluente emitidos por TJ consumido

Fegpoluente/kWh = fator de emissão em g de poluente emitidos por kWh consumido (Tabela 18)

277,7 = fator de conversão de unidades

MMA (2011) fornece a Tabela 19 de fatores de emissão, em gpoluente/kWh (FEgpoluente/kWh).

Tabela 19: Fatores de emissão de CO, NMHC e NOx para motores diesel por fase do PROCONVE (gpoluente/kWh)

Fase do PROCONVE	CO	NMHC	NO _x
Pré-PROCONVE, P1 e P2	1,86	0,68	10,70
P3	1,62	0,54	6,55
P4	0,85	0,29	6,16
P5	0,83	0,16	4,67
P7	0,83	0,16	1,80

Fonte: MMA, 2011.

5) Cálculo da energia consumida no transporte (CE)

A energia consumida no transporte é dada por:

$$CE = (1/N) * Dist * 10^{-3} * Fconvtep * 41,868 * 10^{-3}$$

CE = energia consumida (TJ)

N = rendimento do caminhão em km/Ldiesel

Dist = distância percorrida (km)

10^{-3} = fator de conversão de 1L para 1m³

Fconvtep = fator de conversão de unidade física para tep (tep/m³), listados na Tabela 14. No caso do diesel, é igual a 0,848 tep/m³

41,868*10⁻³ = fator de conversão de 1 tep para TJ

Quanto ao rendimento do caminhão em termos de quilômetros percorridos por litro de diesel (N), este será levantado posteriormente na análise da rota feita pela Aliança. No entanto, a título de verificação, o inventário fornece a Tabela 20 de rendimento médio dos caminhões.

Tabela 20. Rendimento médio de caminhões (km/Ldiesel)

Categoria	Quilometragem por litro (km/L _{diesel})
Caminhões Leves	7,61
Caminhões Médios	5,56
Caminhões Pesados	3,17

Fonte: MMA, 2011.

6) Cálculo das emissões (E)

Considerando os cinco passos anteriores, pode-se calcular as emissões de um gás i geradas por um transporte rodoviário pela seguinte adaptação da fórmula geral:

$$E_i = F_{Ekgpoluente}/T_{Jiabc} * C_{Eiabc}$$

E = emissões do gás i (kg)

$F_{Ekgpoluente}/T_J$ = fator de emissão do gás i (kgpoluente/TJ)

CE = energia consumida (TJ)

i = gás (CO, NMHC ou NOx)

a = tipo de combustível (diesel)

b = tipo de veículo (caminhão leve, médio ou pesado)

c = controle de emissão (Pré-PROCONVE, P1, P2, P3, P4, P5, P6 ou P7)

- *Bottom-up* para transporte marítimo

Conforme MCT (2010b) será realizada uma abordagem simplificada para o cálculo das emissões dos gases CO, NOx e NMHC advindas do transporte marítimo, dadas pela seguinte fórmula:

$$E_{ia} = FE_{iab} * C_{ab} * F_{convtep_a} * 41,868 * 10^{-3}$$

E = Emissões do gás i referentes ao combustível a (t)

FE = Fator de emissão do gás i (t/TJ), listados na Tabela 21

C = quantidade de combustível consumida (m³)

i = gás (CO, NMHC ou NOx)

a = tipo de combustível (óleo combustível ou diesel)

b = tipo de veículo (navio)

F_{convtep_a} = fator de conversão de 1 m³ para tep relativo ao combustível a (0,959 tep/m³ para óleo combustível; 0,848 tep/m³ para diesel - Tabela 14)

41,868*10⁻³ = fator de conversão de 1 tep para TJ

A Tabela 21, advinda de MCT (2010b) apresenta os fatores de emissão dos gases CO, NOx e NMHC para os transportes marítimos que utilizam óleo combustível ou diesel.

Tabela 21: Fatores de emissão de CO, NOx e NMHC para transportes marítimos que utilizam óleo combustível ou diesel (t/TJ)

Gás	FE (t/TJ)
CO	1,0
NOx	1,5
NMHC	0,2

Fonte: MCT, 2010b.

3.5.4 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

3.5.4.1 Descrição da ACV

Conforme Luz (2011) os estudos iniciais sobre ACV ocorreram na década de 60, devido à primeira crise do petróleo, que alertou o mundo para a necessidade de melhor utilização dos recursos naturais. Em 1965, a Coca-Cola desenvolveu um estudo que comparava diferentes tipos de embalagens para refrigerantes, objetivando verificar qual delas apresentava menores índices de emissões para o meio ambiente e melhor desempenho quanto à preservação de recursos naturais. Com o passar dos anos, o modelo desenvolvido nesse estudo foi sendo aperfeiçoado, chegando à metodologia conhecida atualmente como Avaliação do Ciclo de Vida.

A ACV está contemplada em duas normas, a saber: ABNT NBR ISO 14040:2009 (Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura) e ABNT NBR ISO 14044:2009 (Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Requisitos e orientações). De acordo com a primeira delas, a ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto, desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso e disposição. É válido notar que a norma destaca que o termo “produto” não inclui somente sistemas de produto, mas pode também incluir sistemas de serviço. Como possíveis aplicações para a ACV, a norma apresenta:

- Identificação de oportunidades de melhoria dos aspectos ambientais dos produtos em vários pontos de seu ciclo de vida;
- Auxílio na tomada de decisões na indústria, organizações governamentais ou não-governamentais (por exemplo: planejamento estratégico, definição de prioridades, projeto ou re-projeto de produtos ou processos);
- Auxílio no *marketing* (uma declaração ambiental acerca de determinado produto, um programa de rotulagem ecológica);
- Outras aplicações (como a comparação dos impactos ambientais gerados por diferentes produtos ou processos, por exemplo)

No que concerne à realização de um estudo de ACV, a ABNT (2009a) propõe seguir quatro fases iterativas: definição de objetivo e escopo, análise de inventário do ciclo de vida (ICV), avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) e interpretação. A Figura 26

esquematiza a ACV, com suas aplicações e fases, sendo que estas serão descritas detalhadamente na seqüência.

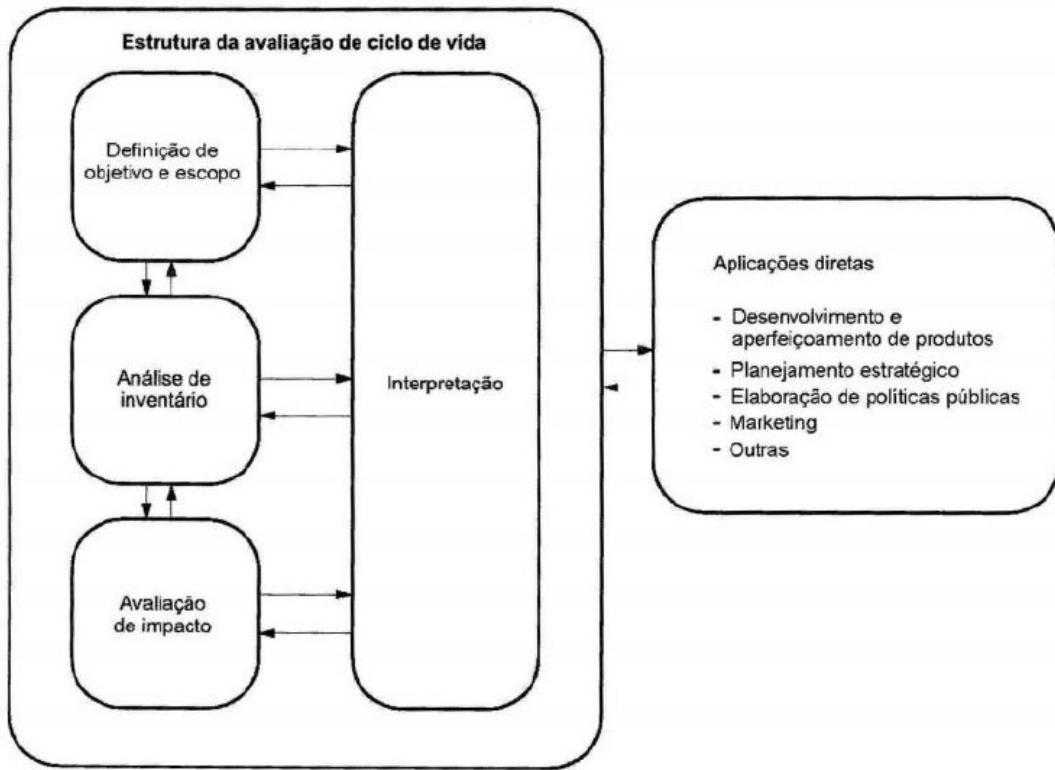


Figura 26. Fases e aplicações da ACV. ABNT (2009a).

Fase 1 – Definição de objetivo e escopo

O objetivo do estudo de ACV deve declarar a aplicação pretendida, as razões de se efetuar o estudo e o público-alvo, ou seja, para quem os resultados serão comunicados (Brino *et al*, 2012).

O escopo da ACV, por sua vez, deve conter informações sobre o sistema a ser estudado, suas fronteiras e a unidade funcional adotada. A descrição do sistema contempla o tipo de produto ou serviço analisado, sua função, quais os materiais utilizados e as tecnologias de produção. As fronteiras do sistema limitam os estágios do ciclo de vida a serem estudados, visto que, dependendo do objetivo da ACV, não é necessário analisar todas as etapas do ciclo de vida. Por fim, a adoção de uma unidade funcional permite quantificar o desempenho do produto ou serviço ao executar sua função, constituindo-se em uma referência em relação à qual as entradas e saídas do sistema serão mensuradas (Valt, 2004)

Fase 2 – Análise de inventário do ciclo de vida (ICV)

A análise de inventário envolve a identificação e quantificação das entradas e saídas do sistema de produto ou serviço ao longo de seu ciclo de vida. Sendo assim, o inventário consiste em uma lista que contém as quantidades consumidas de energia e de materiais e as quantidades de emissões de poluentes para o ar, solo e água, relacionadas à unidade funcional previamente estabelecida no escopo (Luz, 2011).

De acordo com Takahashi (2008) os dados de inventário de melhor qualidade são geralmente obtidos por meio de medições *in loco*. No entanto, limitações do estudo relativas a tempo e recursos nem sempre permitem essas medições, exigindo uma abordagem mais simples. Assim, são utilizadas como principais fontes de informação: normas técnicas, literatura técnica, estatísticas ambientais, licenças ambientais, informações internas de empresas e bancos de dados de ICV internacionais (ex: Ecoinvent, ELCD, LCA Food DK, USLCI).

Fase 3 - Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

A avaliação de impacto do ciclo de vida usa os resultados da análise do inventário para avaliar a significância dos impactos ambientais potenciais. Sendo assim, associa os dados do inventário a impactos ambientais específicos, buscando compreender esses impactos (Luz, 2011).

A AICV possui elementos obrigatórios (seleção, classificação e caracterização) e elementos opcionais (normalização, agrupamento e ponderação), descritos a seguir e esquematizados na Figura 27 (Takahashi, 2008).

- Seleção das categorias de impacto: definição das categorias de impacto que serão consideradas na AICV.
- Classificação: correlação qualitativa dos dados do inventário às categorias de impacto selecionadas.
- Caracterização: quantificação da classificação, ou seja, determinação numérica de quanto é a contribuição de cada dado do inventário à sua respectiva categoria de impacto. Isso é feito por meio da conversão dos resultados do ICV para unidades comuns, através de sua multiplicação por fatores de equivalência (também chamados de fatores de caracterização). Quanto mais alto é o fator de equivalência de determinado dado do

inventário para sua categoria de impacto, mais alta é a contribuição do dado para a respectiva categoria. Após a multiplicação, todos os dados que compõem cada categoria de impacto são somados, e a soma obtida é o valor do indicador daquela categoria.

- Normalização: busca transformar os números de modo a possibilitar uma maior comparação entre os dados das diferentes categorias de impacto. Assim, consiste no cálculo da magnitude dos resultados do indicador da categoria em relação a um valor de referência. A normalização é obtida pela divisão dos valores dos dados pelo valor de referência escolhido. Esse valor de referência pode ser, por exemplo, o total das emissões de uma determinada área (como país, região) em um ano.
- Agrupamento: correlação das categorias de impacto em um ou mais conjuntos (conjuntos estes que podem ser denominados de categorias de danos, por exemplo).
- Ponderação: distribuição de pesos diferentes para os resultados da caracterização e da normalização, de modo que os cálculos reflitam a priorização de determinados impactos considerados mais relevantes.

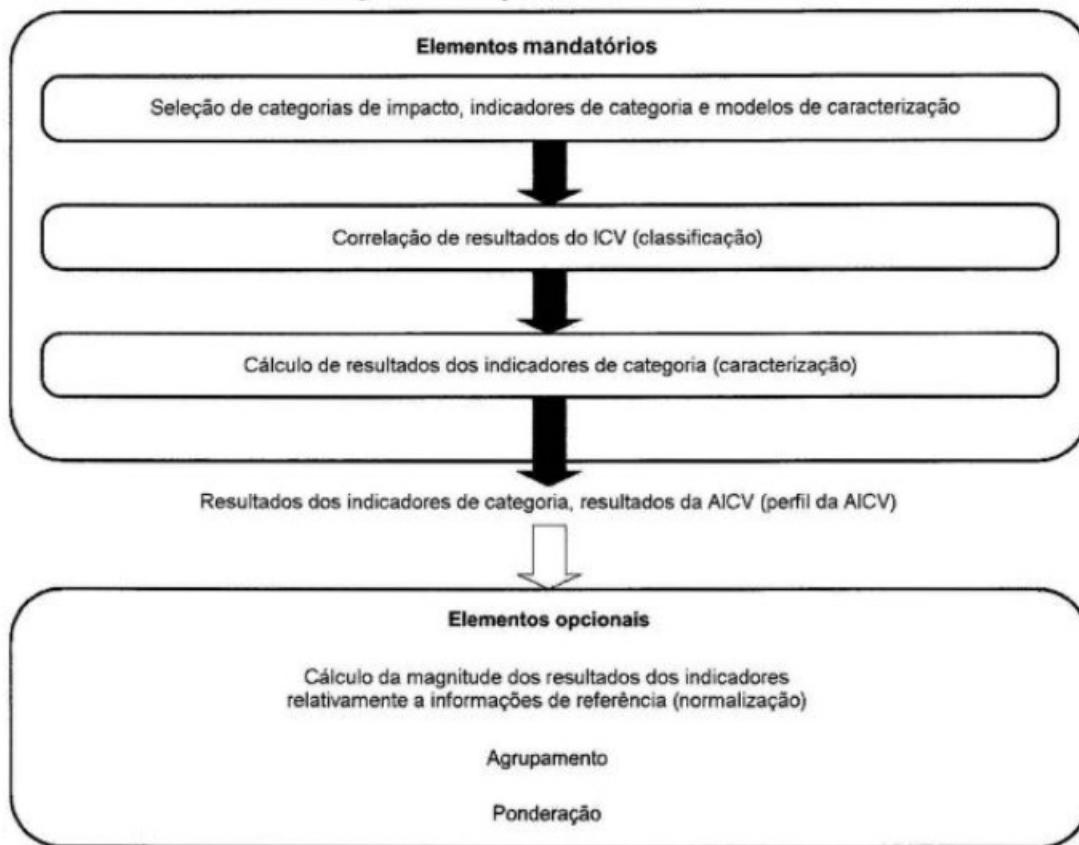


Figura 27. Elementos da AICV. ABNT (2009b).

É válido destacar que há diversos métodos para realizar a AICV, como: Eco-indicator 99, CML, EDIP, TRACI. A Figura 28 apresenta um esquema teórico de um exemplo de método, apenas para melhor entendimento dos elementos previamente apresentados.

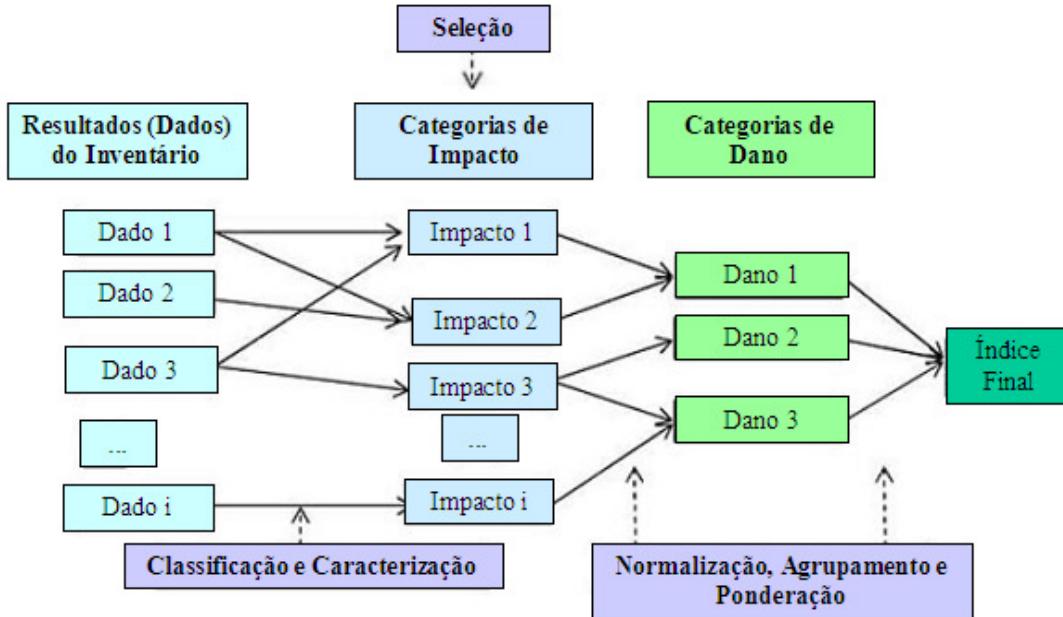


Figura 28. Esquema de método de AICV. Adaptado de Brino *et al*, 2012.

Fase 4 - Interpretação

Esta etapa consiste em analisar os resultados obtidos nas fases de inventário e/ou avaliação de impacto de acordo com o objetivo e o escopo previamente definidos para o estudo, devendo contemplar conclusões e recomendações. Além disso, deve incluir uma análise crítica sobre o estudo, mencionando suas incertezas e limitações (Luz, 2011).

3.5.4.2 Descrição do software Simapro, do banco de dados de ICV ELCD e do método de AICV Eco-Indicator 99

SimaPRO

Há diversos softwares usados internacionalmente para realizar avaliação de ciclo de vida, como SimaPro, Umberto e Gabi. O presente estudo utilizará o software SimaPro 7.3.2 para efetuar a ACV.

Desenvolvido pela empresa de consultoria holandesa *Pré-Consultants*, o SimaPro está habilitado a fazer a avaliação de ciclo de vida segundo a normalização ISO 14040, e permite

analisar, identificar e comparar impactos ambientais do ciclo de vida de diferentes produtos ou serviços. O programa dispõe de diversas bases de dados de inventário e de vários métodos de avaliação de impacto de ciclo de vida. O banco de dados de ICV escolhido para o estudo será o ELCD, e o método de AICV, o Eco-Indicator 99, sendo ambos descritos a seguir.

ELCD (*European Life Cycle Database*)

Conforme informações contidas no próprio SimaPro, o ELCD é uma grande base de dados de inventário de ciclo de vida construída a partir de dados europeus, sendo que possui cadastrados processos em diversas áreas, como: energia, transporte, tratamento de resíduos, materiais. O foco do ELCD é a qualidade, consistência e aplicabilidade de seus dados.

Eco-Indicator 99

O Eco-Indicator 99 é um método de AICV que foi desenvolvido em 1997 por um grupo de cientistas da empresa holandesa *Pré-Consultants*, com apoio do Ministério Holandês do Meio Ambiente, e publicado em 1999. Esse método classifica e caracteriza os resultados do inventário em onze categorias de impacto, a saber (Takeda, 2008; Takahashi, 2008; Nigri, 2012):

- Carcinogênicos: efeitos carcinogênicos nos humanos devido às emissões de substâncias carcinogênicas no ar, água e solo. Dano expresso em DALY - *Disability Adjusted Life Years* (anos de vida perdidos por incapacidade).
- Respiração de orgânicos: efeitos respiratórios nos humanos causados pelas emissões de substâncias orgânicas no ar. Dano expresso em DALY.
- Respiração de inorgânicos: efeitos respiratórios nos humanos causados pelas emissões de substâncias inorgânicas (principalmente poeira, súlfur, óxidos de nitrogênio) no ar. Dano expresso em DALY.
- Mudanças climáticas: danos à saúde humana causados por mudanças climáticas, contemplando desde aumento de doenças à morte. Essas mudanças climáticas se relacionam ao aumento da temperatura global da Terra devido à emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera. Expresso em DALY.

- Radiação: danos à saúde humana relacionados às emissões de substâncias radioativas ao meio ambiente. Expresso em DALY.
- Camada de ozônio: efeitos nos humanos relacionados ao aumento da radiação ultravioleta devido à destruição da camada de ozônio, sendo esta destruição causada por substâncias nocivas emitidas no ar. Dano expresso em DALY.
- Eco-toxicidade: efeitos causados em espécies expostas a emissões de substâncias tóxicas no ar, água e solo, calculados com base em dados de toxicidade para organismos terrestres e aquáticos como microorganismos, plantas, algas, peixes. Dano expresso em *Potentially Disappeared Fraction of Species* (PDF).m².ano (fração de espécies que podem desaparecer por m² por ano). Um PDF.m².ano = 1 significa que todas as espécies de um m² desaparecem durante um ano, ou 10% de todas as espécies desaparecem de 10 m² durante um ano, ou 10% de todas as espécies desaparecem de um m² durante 10 anos.
- Acidificação/Eutrofização: a acidificação diz respeito à diminuição do pH da água das chuvas devido a certos compostos presentes na atmosfera. Ela provoca, portanto, um aumento de acidez no meio, causando efeitos sobre a fauna e a flora. A eutrofização, por sua vez, advém de uma excessiva concentração de nutrientes na água, originando o aparecimento de grande quantidade de algas. A morte e decomposição dessas algas consomem grande parte do oxigênio da água, tornando-a um meio abiótico para a maioria dos seres vivos. O decréscimo de espécies devido à acidificação/eutrofização é expresso em PDF.m².ano.
- Uso de terras: efeitos regionais e locais resultantes da conversão ou ocupação de terras. Dano expresso em PDF.m².ano.
- Minerais: expressa o esforço extra que as gerações futuras terão de empreender para extrair os minerais, dado que a humanidade tende a explorar sempre os melhores recursos em primeiro lugar, deixando os recursos de qualidade inferior para as futuras gerações. Dano expresso em MJ (excedente de energia para se extrair os minerais no futuro, devido à diminuição dos mesmos).
- Combustíveis fósseis: seguindo a mesma lógica dos minerais, expressa o esforço extra que as gerações futuras terão de empreender para extrair os combustíveis fósseis. Dano expresso em MJ (excedente de energia para se extrair os combustíveis fósseis no futuro, devido à diminuição dos mesmos).

O Eco-Indicator 99 agrupa as categorias de impacto acima descritas em três categorias de dano (Takeda, 2008):

- Dano à saúde humana: avalia o número de anos perdidos ou com saúde debilitada; expresso em DALY.
- Dano à qualidade do ecossistema: avalia a perda de espécies em certa área, durante certo período de tempo; expresso em PDF.m².ano.
- Dano aos recursos: avalia o excedente energético utilizado para futuras extrações de combustíveis fósseis e minerais; expresso em MJ.

A correspondência entre as categorias de impacto e as categorias de dano pode ser vista na Tabela 22.

Tabela 22. Correspondência entre categorias de impacto e dano conforme o método Eco-Indicator 99.

Categorias de dano	Categorias de impacto
Saúde humana	Carcinogênicos
	Respiração de orgânicos
	Respiração de inorgânicos
	Mudanças climáticas
	Radiações
	Camada de ozônio
Qualidade do ecossistema	Eco-toxicidade
	Acidificação/Eutrofização:
	Uso de terras
Recursos	Minerais
	Combustíveis fósseis

O método normaliza os resultados obtidos utilizando como valores de referência informações européias para as emissões no ar e holandesas para as emissões na água e no solo. A ponderação do Eco-Indicator 99, por sua vez, busca refletir a visão da sociedade acerca de quais danos são mais importantes, atribuindo pesos a eles. Assim, por meio da normalização e da ponderação, os impactos ambientais são convertidos em pontos (pt), sendo

que um ponto representa um milésimo da carga ambiental anual de um habitante europeu médio. Finalmente, pela soma dos pontos de todos os impactos chega-se a um indicador final (VROM, 2000).

Há três perspectivas diferentes para a realização da caracterização, normalização e ponderação: individualista, hierárquica e igualitária. A perspectiva individualista inclui na avaliação apenas efeitos ambientais com causa comprovada, e possui uma abordagem de curto prazo, ou seja, não considera que os danos serão corrigidos no futuro, mesmo com a evolução da ciência e da sociedade. A perspectiva hierárquica, por sua vez, apresenta uma visão balanceada entre curto e longo prazo, e inclui na avaliação efeitos ambientais consensualmente aprovados por comunidades científicas. Por fim, a perspectiva igualitária adota uma visão de longo prazo, e utiliza o princípio da precaução para a inclusão dos efeitos, isto é, contempla todos os possíveis efeitos na avaliação, mesmo que haja incertezas em relação a eles (Nigri, 2012).

Por considerar um balanço entre curto e longo prazo e por ser a perspectiva mais comumente adotada pela comunidade científica, será empregada no estudo a perspectiva hierárquica.

4 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS E RESULTADOS

O presente capítulo consiste na escolha da rota de transporte da empresa na qual serão aplicados os métodos descritos no item 3.5, na aplicação dos métodos propriamente dita e na apresentação dos resultados.

4.1 Rota a ser analisada

4.1.1 Escolha da rota

Para a escolha da rota de transporte da empresa Aliança na qual será feita a comparação entre transporte de cabotagem e transporte puro rodoviário primeiramente foi efetuado um levantamento, com base nos relatórios analíticos operacionais da empresa de janeiro a agosto de 2012, acerca dos transportes de cabotagem porta a porta (PA - PA) com modal terrestre rodoviário que a empresa realizou nesse período. Esse tipo de transporte encontra-se explicado no fluxograma da Figura 29.

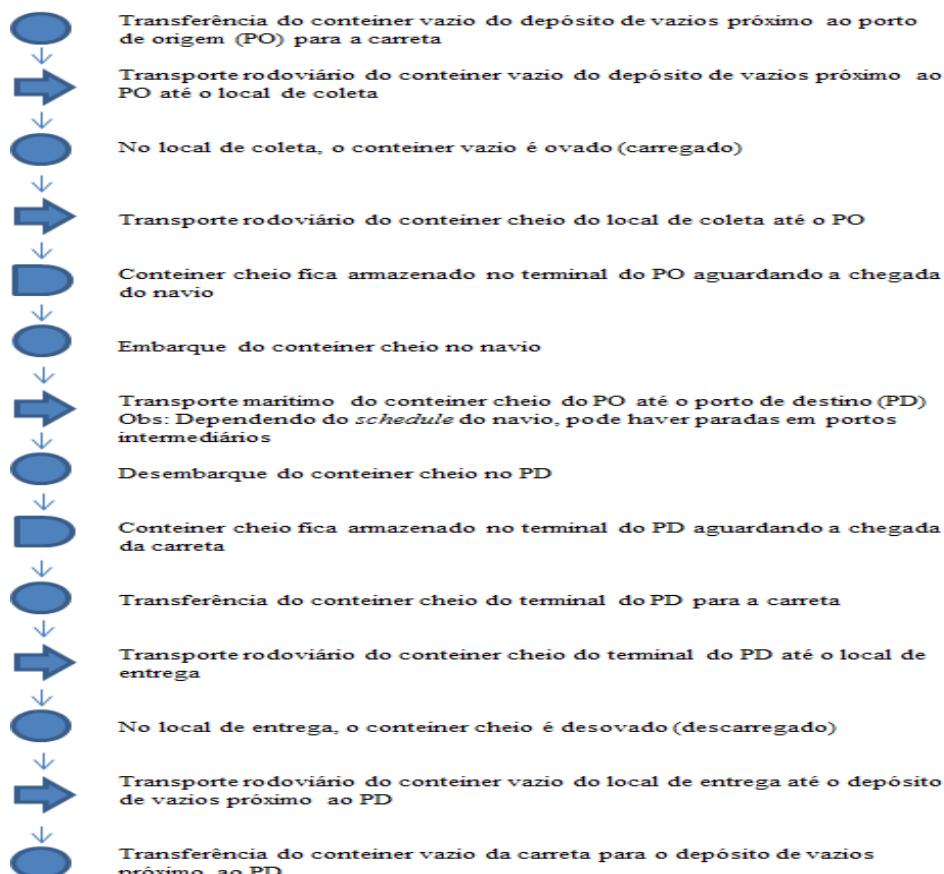


Figura 29. Fluxograma do transporte de cabotagem PA-PA. Elaboração própria.

A Tabela 23 contém as rotas PA-PA mais representativas da empresa em termos de volume de contêineres transportados entre janeiro e agosto de 2012 (somam cerca de 50% do volume total). Por questões de sigilo, os volumes de contêineres de cada rota não aparecem na tabela, apenas o *share* de participação da rota em relação ao volume total transportado.

Tabela 23. Principais rotas de cabotagem PA-PA em 2012 (janeiro a agosto).

Transporte Rodoviário na Origem	Transporte Marítimo	Transporte Rodoviário no Destino	Cidade de Coleta (CC)	Porto de Origem (PO)	Porto de Destino (PD)	Cidade de Entrega (CE)	Share absoluto	Share acumulado	Distância entre CC e PO (km)	Distância entre PO e PD (milhas náuticas - km)	Distância entre PD e CE (km)	Distância entre CC e CE (km)
MANAUS - AM	MAO	SSZ	SAO PAULO - SP				9,5%	9,5%	12	3496 - 6475	79	3880
MANAUS - AM	MAO	SSZ	CAJAMAR - SP				8,3%	17,8%	12	3496 - 6475	109	3847
FORTALEZA - CE	PEC	MAO	MANAUS - AM				4,1%	21,9%	66	1644 - 3045	12	4069
AQUIRAZ - CE	PEC	SSZ	BARUERI - SP				2,9%	24,7%	90	1719 - 3184	105	2947
MARACANAU - CE	PEC	MAO	MANAUS - AM				2,3%	27,0%	56	1644 - 3045	12	4069
TRIUNFO - RS	RIG	MAO	MANAUS - AM				2,2%	29,2%	393	4176 - 7734	12	4439
MANAUS - AM	MAO	SSZ	GUARULHOS - SP				1,7%	31,0%	12	3496 - 6475	96	3887
MANAUS - AM	MAO	SSZ	JUNDIAI - SP				1,6%	32,5%	12	3496 - 6475	135	3825
MANAUS - AM	MAO	SEP	ITATIAIA - RJ				1,5%	34,1%	12	3336 - 6178	170	4102
IPOJUCA - PE	SUA	MAO	MANAUS - AM				1,4%	35,4%	16	2046 - 3789	12	4512
JUNDIAI - SP	SSZ	SUA	CABO DE STO AGOSTINHO - PE				1,2%	36,6%	135	1259 - 2332	20	2557
MANAUS - AM	MAO	SSZ	PAULINIA - SP				1,1%	37,7%	12	3496 - 6475	189	3777
DUQUE DE CAXIAS - RJ	SEP	MAO	MANAUS - AM				1,0%	38,7%	64	3336 - 6178	12	4258
TRES BARRAS - SC	IOA	PEC	PACAJUS - CE				1,0%	39,8%	235	1871 - 3465	106	3451
DUQUE DE CAXIAS - RJ	SEP	SSA	FEIRA DE SANTANA - BA				1,0%	40,8%	64	797 - 1476	109	1503
SAO BERNARDO DO CAMPO - SP	SSZ	SUA	JABOATAO DOS GUARARAPES - PE				1,0%	41,7%	66	1259 - 2332	40	2613
SAO PAULO - SP	SSZ	MAO	MANAUS - AM				0,9%	42,7%	79	3496 - 6475	12	3880
PELOTAS - RS	RIG	MAO	MANAUS - AM				0,9%	43,6%	61	4176 - 7734	12	4652
CAMACARI - BA	SSA	MAO	MANAUS - AM				0,9%	44,5%	51,3	2541 - 4706	12	4508
SIMOES FILHO - BA	SSA	MAO	MANAUS - AM				0,9%	45,4%	30	2541 - 4706	12	4502
EUSEBIO - CE	PEC	MAO	MANAUS - AM				0,9%	46,3%	79	1644 - 3045	12	4084
PORTO REAL - RJ	SEP	PEC	HORIZONTE - CE				0,8%	47,1%	160	1589 - 2943	102	2612
MOGI-MIRIM - SP	SSZ	SUA	PAULISTA - PE				0,8%	47,9%	233	1259 - 2332	71	2589
PELOTAS - RS	RIG	SUA	IPOJUCA - PE				0,8%	48,7%	61	1844 - 3415	16	3929
MANAUS - AM	MAO	SSZ	OSASCO - SP				0,8%	49,5%	12	3496 - 6475	90	3874
FEIRA DE SANTANA - BA	SSA	MAO	MANAUS - AM				0,8%	50,3%	109	2541 - 4706	12	4413

A rota escolhida para análise foi Aquiraz – CE → Pecem - CE → Santos - SP → Barueri - SP. Essa escolha foi feita com base em dois critérios:

- Maior quantidade de contêineres transportados em 2012 (janeiro a agosto);
- Exclusão das rotas com PO ou PD igual a Manaus. Essa exclusão foi feita devido ao fato de que, dadas as características geográficas da cidade e do rio Amazonas, para se chegar a Manaus é necessária a utilização de barcaças. Isso foge do escopo do presente trabalho, visto que este se propõe a analisar apenas a comparação de transporte de cabotagem *versus* rodoviário.

As mercadorias transportadas nessa rota consistem em produtos destinados à saúde, configurando-se em carga geral seca, e sendo transportadas em contêineres *dry 40' HC (High Cube)*. Os navios que realizam o transporte são do tipo porta-contêiner, e os veículos rodoviários, do tipo carreta 3 eixos.

4.1.2 Descrição da rota por transporte de cabotagem

O fluxograma específico do transporte de cabotagem PA-PA da rota escolhida, tomado sob o ponto de vista do transporte de um contêiner, encontra-se na Figura 30.

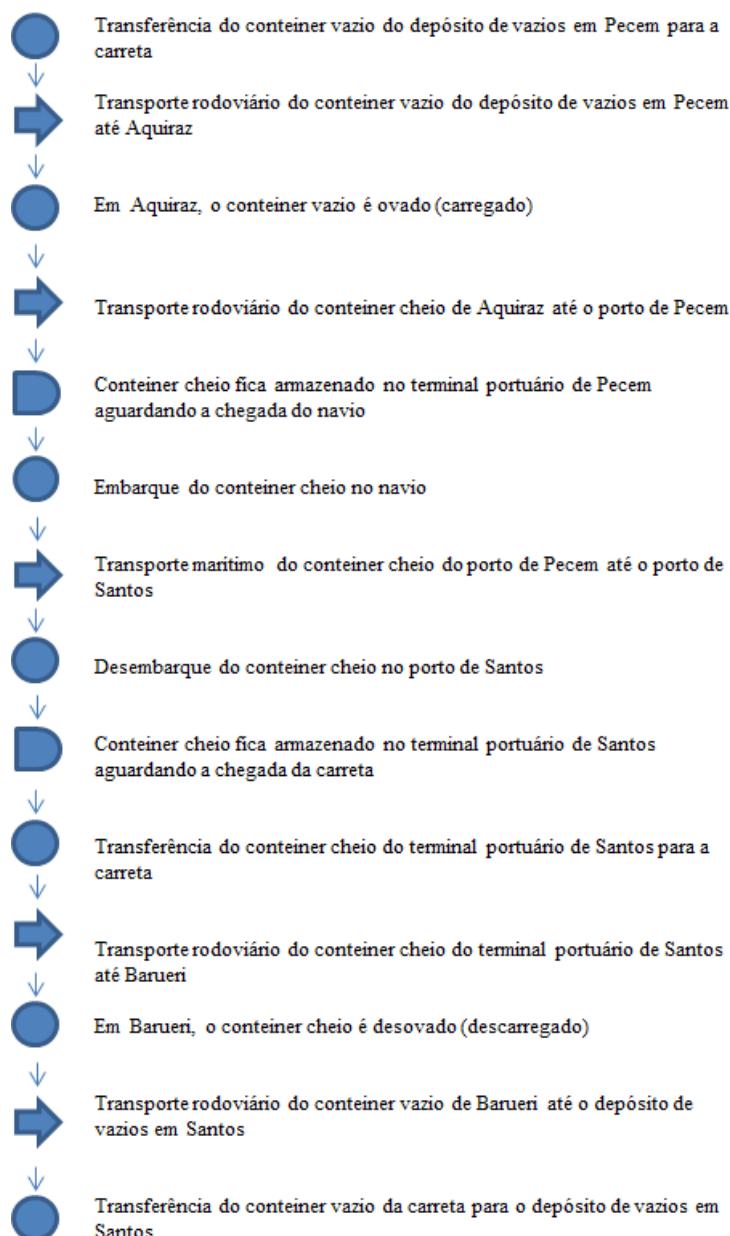


Figura 30. Fluxograma do transporte de cabotagem PA-PA para a rota escolhida.

Elaboração própria.

O mapa ilustrativo da parte do transporte referente apenas ao trecho marítimo da rota em questão encontra-se na Figura 31.



Figura 31. Mapa do trecho marítimo da rota escolhida. Elaboração própria.

É válido notar que o mapa da Figura 31 engloba tanto a viagem de ida quanto a viagem de volta do navio, fato não contemplado pelo fluxograma da Figura 30, mas que deverá ser considerado na análise.

Além disso, deve-se destacar que na viagem marítima de ida será considerado o transporte de todos os contêineres embarcados no navio, independentemente de sua rota, ou seja, não apenas de um contêiner da rota escolhida; isto porque não é correto considerar que um navio transporta apenas um contêiner. Seguindo a mesma lógica, na viagem marítima de volta não será considerado que o navio retorna vazio, mas sim transportando contêineres de outras rotas.

Para a análise ambiental do transporte de cabotagem completo PA-PA da rota escolhida serão avaliados, portanto todos os transportes que o compõem, transportes estes resumidos na Tabela 24.

Tabela 24. Composição do transporte de cabotagem PA-PA da rota escolhida.

Transporte	Componentes
Transporte rodoviário na origem	Transporte rodoviário de um contêiner vazio no trecho Pecem - Aquiraz
	Transporte rodoviário de um contêiner cheio no trecho Aquiraz – Pecem
Transporte marítimo	Transporte marítimo de contêineres cheios no trecho Pecem – Santos (Transporte marítimo de ida)
	Transporte marítimo de contêineres cheios no trecho Santos – Itapoá – Sepetiba – Suape - Pecem (Transporte marítimo de volta)
Transporte rodoviário no destino	Transporte rodoviário de um contêiner cheio no trecho Santos - Barueri
	Transporte rodoviário de um contêiner vazio no trecho Barueri - Santos

4.1.3 Descrição da rota por transporte puro rodoviário

Se a rota escolhida fosse feita apenas por transporte rodoviário, teríamos o fluxograma da Figura 32.

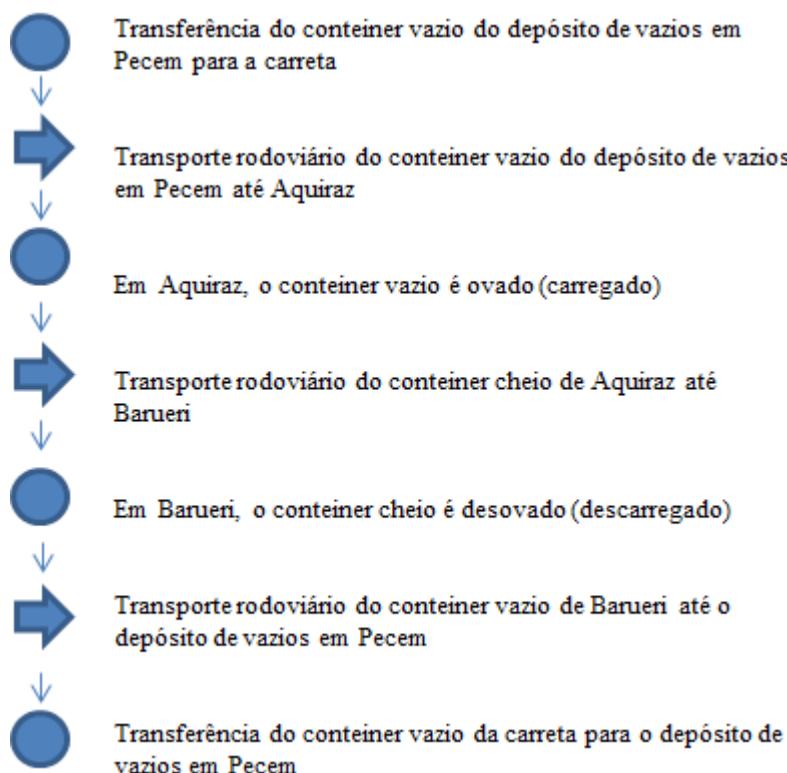


Figura 32. Fluxograma do transporte puro rodoviário para a rota escolhida. Elaboração própria.

Sendo assim, o transporte puro rodoviário da rota em análise é composto pelos transportes explicitados na Tabela 25.

Tabela 25. Composição do transporte puro rodoviário da rota escolhida.

Transporte	Componentes
Transporte puro rodoviário	Transporte rodoviário de um contêiner vazio no trecho Pecem - Aquiraz
	Transporte rodoviário de um contêiner cheio no trecho Aquiraz – Barueri
	Transporte rodoviário de um contêiner vazio no trecho Barueri - Pecem

4.2 Fontes de dados

Os dados de entrada necessários para a aplicação dos modelos relacionados diretamente aos transportes, como peso da carga transportada, consumo de combustível, dias de viagens marítimas, dentre outros, foram obtidos junto à Aliança. Para os demais *inputs*, como fatores de conversão de energia e de emissões, foram utilizados valores tabelados apresentados na revisão bibliográfica.

4.3 Aplicação do método da pegada de carbono – Universidade de Westminster

4.3.1 Transporte de cabotagem PA-PA

Transporte marítimo

Segundo a metodologia apresentada no item 3.5.1, o cálculo da pegada de carbono das viagens marítimas de ida e volta da rota escolhida encontra-se na Tabela 26.

Tabela 26. Pegada de carbono das viagens marítimas de ida e de volta.

Tipo de navio		Porta-contêiner				
Viagem	Viagem marítima de ida	Viagem marítima de volta – detalhada			Viagem marítima de volta - total	
Porto de Origem	Pecem - CE	Santos – SP	Itapoá – SC	Sepetiba – RJ	Suape - PE	Santos - SP
Porto de Destino	Santos – SP	Itapoá – SC	Sepetiba - RJ	Suape – PE	Pecem - CE	Pecem - CE
Distância (Dist)	3.184 km	341 km	633 km	2091 km	839 km	3.904 km (341 + 633 + 2091 + 839)
Peso total da carga [I]	7.710.312 kg	15.040.070 kg	15.855.884 kg	24.135.580 kg	23.762.827 kg	
Qtd de combustível/dia no mar (Cm)	38 t/dia - HFO	39 t/dia – HFO	39 t/dia - HFO	40 t/dia – HFO	40 t/dia - HFO	
Qtd de combustível/dia no porto (Cp)	4 t/dia - Diesel	4 t/dia - Diesel	4 t/dia - Diesel	4 t/dia – Diesel	4 t/dia - Diesel	
Dias no mar (Dm)	4,2 dias	0,8 dias	1,0 dias	3,4 dias	1,0 dias	6,2 dias (0,8 + 1,0 + 3,4 + 1,0)
Dias no porto (Dp)		1,0 dias (em Santos)	0,5 dias (em Itapoá)	0,8 dias (em Sepetiba)	1,3 dias (em Suape)	3,6 dias (1,0 + 0,5 + 0,8 + 1,3)
Consumo total de combustível HFO ((Cm*Dm)*1000) [2]	159.600 kg	31.200 kg	39.000 kg	136.000 kg	40.000 kg	246.200 kg (31.200 + 39.000 + 136.000 + 40.000)
Consumo total de combustível Diesel ((Cp*Dp)*1000) [2']		4.000 kg	2.000 kg	3.200 kg	5.200 kg	14.400 kg (4.000 + 2.000 + 3.200 + 5.200)
Fator de conversão de emissões para HFO (Femi_HFO)	3.553 gCO2eq/kg	3.553 gCO2eq/kg	3.553 gCO2eq/kg	3.553 gCO2eq/kg	3.553 gCO2eq/kg	3.553 gCO2eq/kg
Fator de conversão de emissões para Diesel (Femi_Diesel)	3.492 gCO2eq/kg	3.492 gCO2eq/kg	3.492 gCO2eq/kg	3.492 gCO2eq/kg	3.492 gCO2eq/kg	3.492 gCO2eq/kg
Fator de conversão de energia para HFO (Fene_HFO)	952 gep/kg	952 gep/kg	952 gep/kg	952 gep/kg	952 gep/kg	952 gep/kg
Fator de conversão de energia para Diesel (Fene_Diesel)	1000 gep/kg	1000 gep/kg	1000 gep/kg	1000 gep/kg	1000 gep/kg	1000 gep/kg
Total de emissões ((2)*Femi_HFO + (2')*Femi_Diesel) [3]	567.059*10³ gCO2e	124.822*10 ³ gCO2e	145.551*10 ³ gCO2e	494.382*10 ³ gCO2e	160.278*10 ³ gCO2e	925.033*10³ gCO2e
Total de energia ((2)*Fene_HFO + (2')*Fene_Diesel) [4]	151.939*10³ gep	33.702*10 ³ gep	39.128*10 ³ gep	132.672*10 ³ gep	43.280*10 ³ gep	248.782*10³ gep
Intensidade de emissões de GEE por kg (Ie1 = [3]/[1])	73,5 gCO2e/kg	8,3 gCO2e/kg	9,2 gCO2e/kg	20,5 gCO2e/kg	6,7 gCO2e/kg	44,7 gCO2e/kg (8,3 + 9,2 + 20,5 + 6,7)
Intensidade de emissões de GEE por tkm (Ie2 = Ie1*1000/Dist)	23,1 gCO2e/tkm	24,3 gCO2e/tkm	14,5 gCO2e/tkm	9,8 gCO2e/tkm	8,0 gCO2e/tkm	11,5 gCO2e/tkm
Eficiência energética por kg (Ee1 = [4]/[1])	19,7 gep/kg	2,2 gep/kg	2,5 gep/kg	5,5 gep/kg	1,8 gep/kg	12,0 gep/kg (2,2 + 2,5 + 5,5 + 1,8)
Eficiência energética por tkm (Ee2 = Ee1*1000/Dist)	6,2 gep/tkm	6,6 gep/tkm	3,9 gep/tkm	2,6 gep/tkm	2,2 gep/tkm	3,1 gep/tkm

A pegada de carbono do transporte marítimo total da rota escolhida, bem como um resumo do mesmo, encontram-se na Tabela 27.

Tabela 27. Pegada de carbono do transporte marítimo total.

Viagem	Viagem marítima de ida	Viagem marítima de volta	Transporte marítimo total
Porto de Origem	Pecem – CE	Santos - SP	Pecem – CE
Porto de Destino	Santos – SP	Pecem - CE	Pecem – CE
Distância (Dist)	3.184 km	3.904 km	7.088 km
Dias no mar	4,2 dias	6,2 dias	10,4 dias
Dias no porto		3,6 dias	3,6 dias
Consumo total de combustível HFO	159.600 kg	246.200 kg	405.800 kg
Consumo total de combustível Diesel		14.400 kg	14.400 kg
Total de emissões	567.059×10^3 gCO ₂ e	925.033×10^3 gCO ₂ e	$1.492.092 \times 10^3$ gCO₂e
Total de energia	151.939×10^3 gep	248.782×10^3 gep	400.722×10^3 gep
Intensidade de emissões de GEE por kg (Ie1)	73,5 gCO ₂ e/kg	44,7 gCO ₂ e/kg	118,3 gCO₂e/kg
Intensidade de emissões de GEE por tkm (Ie2 = Ie1 * 1000/Dist)	23,1 gCO ₂ e/tkm	11,5 gCO ₂ e/tkm	16,7 gCO₂e/tkm
Eficiência energética por kg (Ee1)	19,7 gep/kg	12,0 gep/kg	31,7 gep/kg
Eficiência energética por tkm (Ee2 = Ee1 * 1000/Dist)	6,2 gep/tkm	3,1 gep/tkm	4,5 gep/tkm

Transportes rodoviários na origem e no destino

Seguindo a metodologia do item 3.5.1, o cálculo da pegada de carbono dos transportes rodoviários na origem e no destino para a rota escolhida encontram-se na Tabela 28.

Tabela 28. Pegada de carbono dos transportes rodoviários na origem e no destino.

Transporte	Transporte rodoviário na origem	Transporte rodoviário no destino
Cidade de origem do transporte do contêiner cheio	Aquiraz – CE	Santos – SP
Cidade de destino do transporte do contêiner cheio	Pecem – CE	Barueri – SP
Distância útil (D) Obs: Distância útil = distância na qual há transporte de carga	90 km	105 km
Peso da carga (Q)	21.859 kg	21.859 kg
Fator de consideração da viagem de contêiner vazio (E)	2	2
Consumo de combustível - diesel - do veículo (C) Obs: média entre consumo carregando contêiner cheio e vazio	0,477 L/km	0,477 L/km
Consumo total de combustível ($C*D*E$) [I]	85,86 L	100,17 L
Fator de conversão de emissões para diesel (Femi)	2.951 gCO ₂ eq/L	2.951 gCO ₂ eq/L
Fator de conversão de energia para diesel (Fene)	845 gep/L	845 gep/L
Total de emissões ($I*Femi$) [2]	253.373 gCO ₂ e	295.602 gCO ₂ e
Total de energia ($I*Fene$) [3]	72.552 gep	84.644 gep
Intensidade de emissões de GEE por kg ($Ie1 = [2]/Q$)	11,6 gCO ₂ e/kg	13,5 gCO ₂ e/kg
Intensidade de emissões de GEE por tkm ($Ie2 = Ie1*1000/D$)	128,8 gCO ₂ e/tkm	128,8 gCO ₂ e/tkm
Eficiência energética por kg ($Ee1 = [3]/Q$)	3,3 gep/kg	3,9 gep/kg
Eficiência energética por tkm ($Ee2 = Ee1*1000/D$)	36,9 gep/tkm	36,9 gep/tkm

Transporte de cabotagem PA-PA

Consolidando os resultados das tabelas 27 e 28, a Tabela 29 apresenta a pegada de carbono total para o transporte de cabotagem PA-PA da rota em estudo.

Tabela 29. Pegada de carbono total para o transporte de cabotagem PA-PA.

Transporte	Transporte rodoviário na origem	Transporte marítimo total	Transporte rodoviário no destino	Transporte de cabotagem PA-PA
Distância total útil percorrida (Dist)	90 km	7.088 km	105 km	7.283 km
Total de emissões	253.373 gCO ₂ e	1.492.092*10 ³ gCO ₂ e	295.602 gCO ₂ e	1.492.641*10 ³ gCO ₂ e
Total de energia	72.552 gep	400.722*10 ³ gep	84.644 gep	400.879*10 ³ gep
Intensidade de emissões de GEE por kg ($Ie1$)	11,6 gCO ₂ e/kg	118,3 gCO ₂ e/kg	13,5 gCO ₂ e/kg	143,4 gCO ₂ e/kg
Intensidade de emissões de GEE por tkm ($Ie2 = Ie1*1000/Dist$)	128,8 gCO ₂ e/tkm	16,7 gCO ₂ e/tkm	128,8 gCO ₂ e/tkm	19,7 gCO ₂ e/tkm
Eficiência energética por kg ($Ee1$)	3,3 gep/kg	31,7 gep/kg	3,9 gep/kg	38,9 gep/kg
Eficiência energética por tkm ($Ee2 = Ee1*1000/Dist$)	36,9 gep/tkm	4,5 gep/tkm	36,9 gep/tkm	5,3 gep/tkm

4.3.2 Transporte puro rodoviário

A pegada de carbono do transporte puro rodoviário da rota em análise está calculada na tabela 30, conforme metodologia presente no item 3.5.1.

Tabela 30. Pegada de carbono para o transporte puro rodoviário.

Transporte	Transporte rodoviário do contêiner vazio Pecem - Aquiraz	Transporte rodoviário do contêiner cheio Aquiraz – Barueri	Transporte rodoviário do contêiner vazio Barueri - Pecem	Transporte puro rodoviário total
Cidade de origem	Pecem – CE	Aquiraz – CE	Barueri - SP	Pecem – CE
Cidade de destino	Aquiraz – CE	Barueri – SP	Pecem – CE	Pecem – CE
Distância (D)	90 km	2.947 km	3.003 km	6.040 km
Distância útil (Du)		2.947 km		2.947 km
Peso da carga (Q)		21.859 kg		21.859 kg
Consumo de combustível - diesel - do veículo (C)	0,455 L/km	0,500 L/km	0,455 L/km	
Consumo total de combustível ($C \cdot D$) [1]	40,9 L	1.473,5 L	1.365,0 L	2.879,4 L
Fator de conversão de emissões para diesel (Femi)	2.951 gCO ₂ eq/L	2.951 gCO ₂ eq/L	2.951 gCO ₂ eq/L	2.951 gCO₂eq/L
Fator de conversão de energia para diesel (Fene)	845 gep/L	845 gep/L	845 gep/L	845 gep/L
Total de emissões ($[1] \cdot Femi$) [2]	$121 \cdot 10^3$ gCO ₂ e	$4.349 \cdot 10^3$ gCO ₂ e	$4.028 \cdot 10^3$ gCO ₂ e	$8.497 \cdot 10^3$ gCO₂e
Total de energia ($[1] \cdot Fene$) [3]	$35 \cdot 10^3$ gep	$1.245 \cdot 10^3$ gep	$1.153 \cdot 10^3$ gep	$2.433 \cdot 10^3$ gep
Intensidade de emissões de GEE por kg ($Ie1 = [2]/Q$)				388,7 gCO₂e/kg
Intensidade de emissões de GEE por tkm ($Ie2 = Ie1 \cdot 1000/Du$)				131,9 gCO₂e/tkm
Eficiência energética por kg ($Ee1 = [3]/Q$)				111,3 gep/kg
Eficiência energética por tkm ($Ee2 = Ee1 \cdot 1000/Du$)				37,8 gep/tkm

4.3.3 Análise comparativa de resultados – Método da pegada de carbono – Universidade de Westminster

O Gráfico 8 apresenta a comparação entre a pegada de carbono por tonelada-quilometro do transporte de cabotagem PA-PA e do transporte puro rodoviário, calculada pelo

método proposto por professores da universidade de Westminster. Percebe-se que as emissões de gCO₂e/tkm do transporte puro rodoviário (131,9) são cerca de 6,7 vezes maiores do que as do transporte de cabotagem PA-PA (19,7).

A título de complementação da análise, quanto ao consumo de energia, o Gráfico 9 mostra que a energia por tonelada-quilometro consumida pelo transporte puro rodoviário (37,8 gep/tkm) é cerca de 7 vezes superior à energia consumida pelo transporte de cabotagem PA-PA (5,3 gep/tkm).

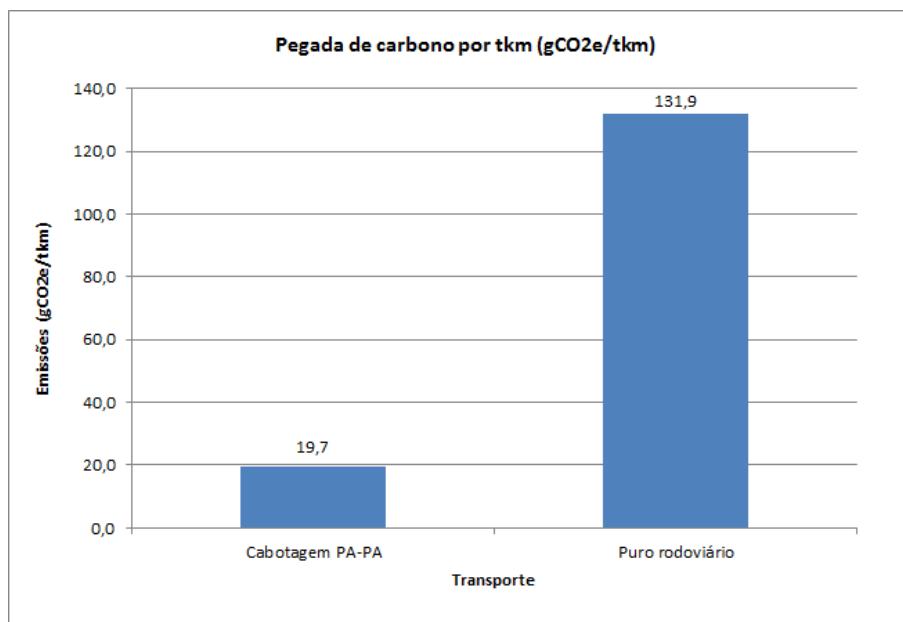


Gráfico 8. Pegada de carbono por tkm – cabotagem PA-PA X puro rodoviário.

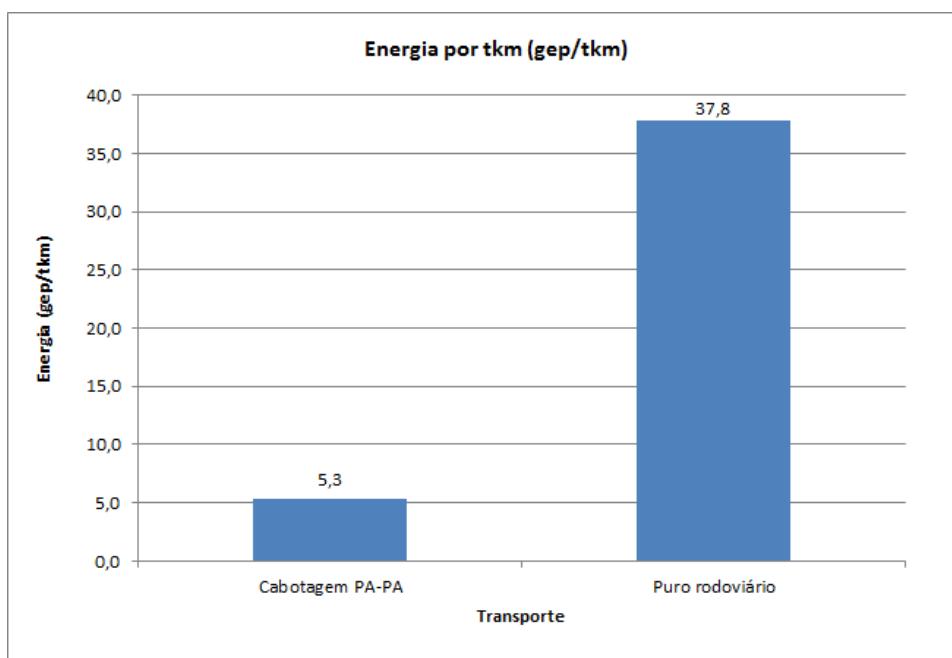


Gráfico 9. Energia consumida por tkm – cabotagem PA-PA X puro rodoviário.

4.4 Aplicação do método *top-down* para emissões de CO2 - IPCC

4.4.1 Transporte de cabotagem PA-PA

Transporte marítimo

Seguindo a metodologia apresentada no item 3.5.2, o cálculo das emissões de CO2 para o transporte marítimo da rota escolhida encontra-se na Tabela 31.

Tabela 31. Emissões de CO₂ do transporte marítimo.

Viagem		Viagem marítima de ida	Viagem marítima de volta – detalhada			Transporte marítimo total
Porto de origem	Pecem – CE	Santos – SP	Itapoá - SC	Sepetiba – RJ	Suape – PE	Pecem - CE
Porto de destino	Santos – SP	Itapoá – SC	Sepetiba - RJ	Suape – PE	Pecem – CE	Pecem - CE
Toneladas-quilometro (<i>T</i>)	24.549.633 tkm	5.128.664 tkm	10.036.774 tkm	50.467.497 tkm	19.937.012 tkm	110.119.580 tkm
1)	Consumo de combustível – HFO (<i>CAc_hfo</i>) Obs: densidade_HFO = 1000 kg/m ³	159.600 kg = 159,6 m ³	31.200 kg = 31,2 m ³	39.000 kg = 39,0 m ³	136.000 kg = 136,0 m ³	40.000 kg = 40,0 m ³
	Consumo de combustível – diesel (<i>CAc_d</i>) Obs: densidade_diesel = 840 kg/m ³		4.000 kg = 4,76 m ³	2.000 kg = 2,38 m ³	3.200 kg = 3,81 m ³	5.200 kg = 6,19 m ³
2)	Fator de conversão de unidade física para tep – HFO (<i>Fconvtep_hfo</i>)	0,959 tep/m ³	0,959 tep/m ³	0,959 tep/m ³	0,959 tep/m ³	0,959 tep/m³
	Fator de conversão de unidade física para tep – diesel (<i>Fconvtep_d</i>)		0,848 tep/m ³	0,848 tep/m ³	0,848 tep/m ³	0,848 tep/m³
	Consumo de energia – HFO (<i>CE_hfo</i> = <i>CAc_hfo</i> * <i>Fconvtep_hfo</i> *41,868*10 ⁻³)	6,41 TJ	1,25 TJ	1,57 TJ	5,46 TJ	16,29 TJ
	Consumo de energia – diesel (<i>CE_d</i> = <i>CAc_d</i> * <i>Fconvtep_d</i> *41,868*10 ⁻³)		0,17 TJ	0,08 TJ	0,14 TJ	0,61 TJ
3)	Fator de emissão de carbono - HFO (<i>FE_hfo</i>)	21,1 tC/TJ	21,1 tC/TJ	21,1 tC/TJ	21,1 tC/TJ	21,1 tC/TJ
	Fator de emissão de carbono – diesel (<i>FE_d</i>)		20,2 tC/TJ	20,2 tC/TJ	20,2 tC/TJ	20,2 tC/TJ
	Conteúdo de carbono – HFO (<i>QtdC_hfo</i> = <i>CE_hfo</i> * <i>FE_hfo</i>)	135,2 tC	26,4 tC	33,0 tC	115,2 tC	343,8 tC
	Conteúdo de carbono – diesel (<i>QtdC_d</i> = <i>CE_d</i> * <i>FE_d</i>)		3,4 tC	1,7 tC	2,7 tC	12,3 tC
4)	Fração de carbono oxidado – HFO (<i>FCox_hfo</i>)	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Fração de carbono oxidado – diesel (<i>FCox_d</i>)		0,99	0,99	0,99	0,99
	Quantidade de carbono oxidado – HFO (<i>QtdCox_hfo</i> = <i>QtdC_hfo</i> * <i>FCox_hfo</i>)	133,9 tC	26,2 tC	32,7 tC	114,1 tC	340,4 tC
	Quantidade de carbono oxidado – diesel (<i>QtdCox_d</i> = <i>QtdC_d</i> * <i>FCox_d</i>)		3,4 tC	1,7 tC	2,7 tC	12,2 tC
	Quantidade de carbono oxidado – total (<i>QtdCox</i> = <i>QtdCox_hfo</i> + <i>QtdCox_d</i>)	133,9 tC	29,5 tC	34,4 tC	116,8 tC	352,5 tC
5)	Emissões de CO ₂ (<i>ECO2</i> = <i>QtdCox</i> *44/12)	490,8 tCO ₂	108,3 tCO ₂	126,1 tCO ₂	428,2 tCO ₂	1.292,6 tCO₂
	Emissões de CO ₂ por tonelada-quilometro (<i>ECO2</i> *10 ⁶ / <i>T</i>)	20,0 gCO ₂ /tkm	21,1 gCO ₂ /tkm	12,6 gCO ₂ /tkm	8,5 gCO ₂ /tkm	11,7 gCO₂/tkm

Transportes rodoviários na origem e no destino

Conforme a metodologia do item 3.5.2, as emissões de CO₂ dos transportes rodoviários na origem e no destino para a rota em estudo encontram-se na Tabela 32.

Tabela 32. Emissões de CO₂ dos transportes rodoviários na origem e no destino.

Transporte	Transporte rodoviário na origem	Transporte rodoviário no destino
Cidade de origem do transporte do contêiner cheio	Aquiraz – CE	Santos – SP
Cidade de destino do transporte do contêiner cheio	Pecem – CE	Barueri – SP
Toneladas-quilometro úteis (<i>T</i>)	1.967 tkm	2.295 tkm
1) Consumo de combustível – diesel (<i>CAc_d</i>)	85,86 L = 0,08586 m ³	100,17 L = 0,10017 m ³
2) Fator de conversão de unidade física para tep – diesel (<i>Fconvtep_d</i>)	0,848 tep/m ³	0,848 tep/m ³
2) Consumo de energia – diesel (<i>CE_d</i> = <i>CAc_d</i> * <i>Fconvtep_d</i> *41,868*10 ⁻³)	3.048*10 ⁻⁶ TJ	3.556*10 ⁻⁶ TJ
3) Fator de emissão de carbono – diesel (<i>FE_d</i>)	20,2 tC/TJ	20,2 tC/TJ
3) Conteúdo de carbono – diesel (<i>QtdC_d</i> = <i>CE_d</i> * <i>FE_d</i>)	61.577*10 ⁻⁶ tC	71.840*10 ⁻⁶ tC
4) Fração de carbono oxidado – diesel (<i>FCox_d</i>)	0,99	0,99
4) Quantidade de carbono oxidado – diesel (<i>QtdCox_d</i> = <i>QtdC_d</i> * <i>FCox_d</i>)	60.961*10 ⁻⁶ tC	71.122*10 ⁻⁶ tC
5) Emissões de CO ₂ (<i>ECO2</i> = <i>QtdCox_d</i> *44/12)	0,22 tCO ₂	0,26 tCO ₂
Emissões de CO ₂ por tonelada-quilometro (<i>ECO2</i> *10 ⁶ / <i>T</i>)	113,6 gCO ₂ /tkm	113,6 gCO ₂ /tkm

Transporte de cabotagem PA-PA

Consolidando os resultados das tabelas 31 e 32, a Tabela 33 mostra as emissões de CO₂ totais para o transporte de cabotagem PA-PA da rota em análise.

Tabela 33. Emissões de CO₂ totais para o transporte de cabotagem PA-PA.

Transporte	Transporte rodoviário na origem	Transporte marítimo total	Transporte rodoviário no destino	Transporte de cabotagem PA-PA
Toneladas-quilometro úteis (<i>T</i>)	1.967 tkm	110.119.580 tkm	2.295 tkm	110.123.843 tkm
Emissões de CO ₂ (<i>ECO2</i>)	0,22 tCO ₂	1.292,6 tCO ₂	0,26 tCO ₂	1.293 tCO₂
Emissões de CO ₂ por tonelada-quilometro (<i>ECO2</i> *10 ⁶ / <i>T</i>)	113,6 gCO ₂ /tkm	11,7 gCO ₂ /tkm	113,6 gCO ₂ /tkm	11,7 gCO₂/tkm

4.4.2 Transporte puro rodoviário

As emissões de CO₂ do transporte puro rodoviário da rota em estudo estão calculadas na tabela 34, de acordo com a metodologia presente no item 3.5.2.

Tabela 34. Emissões de CO₂ para o transporte puro rodoviário.

Transporte		Transporte rodoviário do contêiner vazio Pecem – Aquiraz	Transporte rodoviário do contêiner cheio Aquiraz - Barueri	Transporte rodoviário do contêiner vazio Barueri - Pecem	Transporte puro rodoviário total
Cidade de origem		Pecem – CE	Aquiraz – CE	Barueri – SP	Pecem – CE
Cidade de destino		Aquiraz – CE	Barueri - SP	Pecem – CE	Pecem – CE
Toneladas-quilometro úteis (<i>T</i>)		0 tkm	64.418 tkm	0 tkm	64.418 tkm
1)	Consumo de combustível – diesel (<i>CAc_d</i>)	40,9 L = 0,0409 m ³	1473,5 L = 1,4735 m ³	1365,0 L = 1,365 m ³	2879,4 L = 2,8794 m³
2)	Fator de conversão de unidade física para tep – diesel (<i>Fconvtep_d</i>)	0,848 tep/m ³	0,848 tep/m ³	0,848 tep/m ³	0,848 tep/m³
	Consumo de energia – diesel (<i>CE_d</i> = <i>CAc_d</i> * <i>Fconvtep_d</i> *41,868*10 ⁻³)	1,45*10 ⁻³ TJ	52,32*10 ⁻³ TJ	48,46*10 ⁻³ TJ	102,23*10⁻³ TJ
3)	Fator de emissão de carbono – diesel (<i>FE_d</i>)	20,2 tC/TJ	20,2 tC/TJ	20,2 tC/TJ	20,2 tC/TJ
	Conteúdo de carbono – diesel (<i>QtdC_d</i> = <i>CE_d</i> * <i>FE_d</i>)	0,029 tC	1,057 tC	0,979 tC	2,065 tC
4)	Fração de carbono oxidado – diesel (<i>FCox_d</i>)	0,99	0,99	0,99	0,99
	Quantidade de carbono oxidado – diesel (<i>QtdCox_d</i> = <i>QtdC_d</i> * <i>FCox_d</i>)	0,029 tC	1,046 tC	0,969 tC	2,044 tC
5)	Emissões de CO ₂ (<i>ECO2</i> = <i>QtdCox_d</i> *44/12)	0,11 tCO ₂	3,84 tCO ₂	3,55 tCO ₂	7,50 tCO₂
Emissões de CO ₂ por tonelada-quilometro (<i>ECO2</i> *10 ⁶ / <i>T</i>)					116,4 gCO₂/km

4.4.3 Análise comparativa de resultados – Método *top-down*

O Gráfico 10 contém a comparação entre as emissões de CO₂ por tonelada-quilometro do transporte de cabotagem PA-PA e do transporte puro rodoviário, calculadas pelo método *top-down* proposto pelo IPCC. Nota-se que as emissões de gCO₂/tkm do transporte puro rodoviário (116,4) são cerca de 10 vezes maiores do que as do transporte de cabotagem PA-PA (11,7).

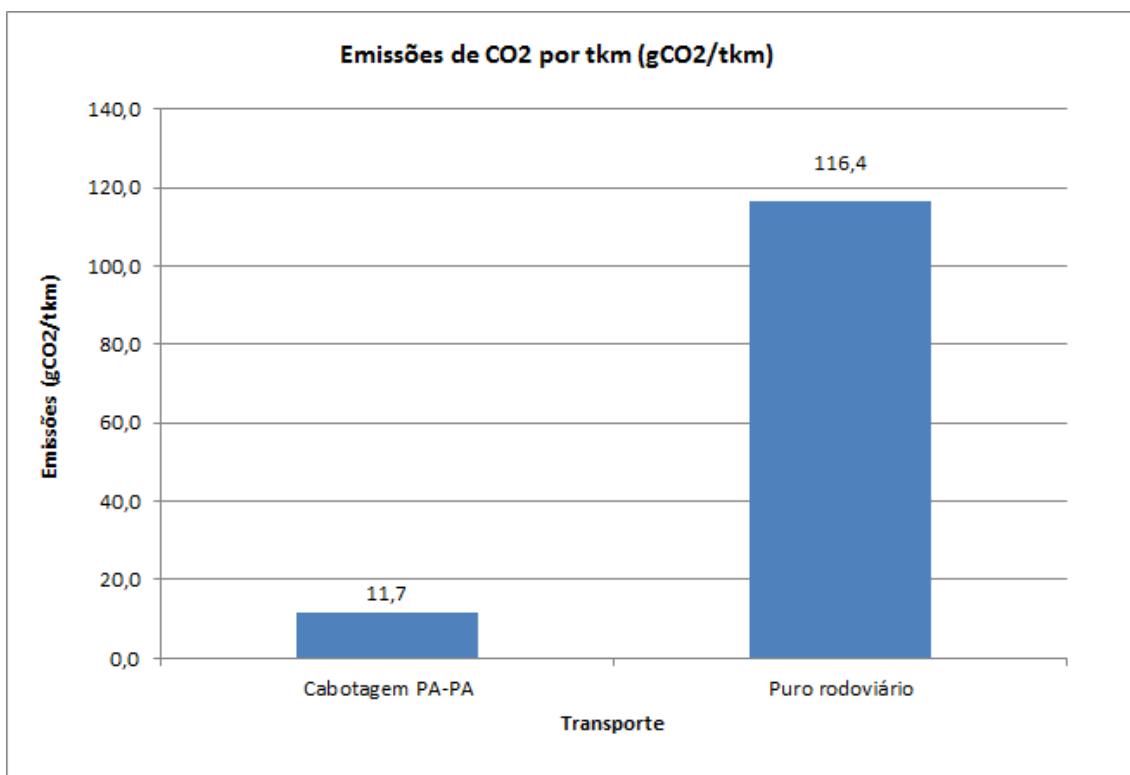


Gráfico 10. Emissões de gCO2 por tkm – cabotagem PA-PA X puro rodoviário.

4.5 Aplicação do método *bottom-up* para emissões de CO, NMHC e NOx - IPCC

4.5.1 Transporte de cabotagem PA-PA

Transporte marítimo

Conforme a metodologia apresentada no item 3.5.3, o cálculo das emissões de CO, NMHC e NOx para o transporte marítimo da rota escolhida encontra-se na Tabela 35.

Tabela 35. Emissões de CO, NMHC e NOx do transporte marítimo.

Transporte	Transporte marítimo total
Toneladas-quilometro (<i>T</i>)	110.119.580 tkm
Consumo de combustível – HFO (<i>C_hfo</i>)	405,8 m ³
Consumo de combustível – diesel (<i>C_d</i>)	17,14 m ³
Fator de conversão de unidade física para tep – HFO (<i>Fconvtep_hfo</i>)	0,959 tep/m ³
Fator de conversão de unidade física para tep – diesel (<i>Fconvtep_d</i>)	0,848 tep/m ³
Fator de emissão do CO para HFO (<i>FE_CO_hfo</i>)	1,0 tCO/TJ
Fator de emissão do NMHC para HFO (<i>FE_NMHC_hfo</i>)	0,2 tNMHC/TJ
Fator de emissão do NOx para HFO (<i>FE_NOx_hfo</i>)	1,5 tNOx/TJ
Fator de emissão do CO para diesel (<i>FE_CO_d</i>)	1,0 tCO/TJ
Fator de emissão do NMHC para diesel (<i>FE_NMHC_d</i>)	0,2 tNMHC/TJ
Fator de emissão do NOx para diesel (<i>FE_NOx_d</i>)	1,5 tNOx/TJ
Emissões de CO referentes ao HFO $(E_{CO_hfo} = C_{hfo}*Fconvtep_hfo*FE_{CO_hfo}*41,868*10^{-3})$	16,3 tCO
Emissões de NMHC referentes ao HFO $(E_{NMHC_hfo} = C_{hfo}*Fconvtep_hfo*FE_{NMHC_hfo}*41,868*10^{-3})$	3,3 tNMHC
Emissões de NOx referentes ao HFO $(E_{NOx_hfo} = C_{hfo}*Fconvtep_hfo*FE_{NOx_hfo}*41,868*10^{-3})$	24,4 tNOx
Emissões de CO referentes ao diesel $(E_{CO_d} = C_d*Fconvtep_d*FE_{CO_d}*41,868*10^{-3})$	0,6 tCO
Emissões de NMHC referentes ao diesel $(E_{NMHC_d} = C_d*Fconvtep_d*FE_{NMHC_d}*41,868*10^{-3})$	0,1 tNMHC
Emissões de NOx referentes ao diesel $(E_{NOx_d} = C_d*Fconvtep_d*FE_{NOx_d}*41,868*10^{-3})$	0,9 tNOx
Emissões de CO – total (<i>E_CO</i> = <i>E_CO_hfo</i> + <i>E_CO_d</i>)	16,9 tCO
Emissões de NMHC – total (<i>E_NMHC</i> = <i>E_NMHC_hfo</i> + <i>E_NMHC_d</i>)	3,4 tNMHC
Emissões de NOx – total (<i>E_NOx</i> = <i>E_NOx_hfo</i> + <i>E_NOx_d</i>)	25,4 tNOx
Emissões de CO por tkm (<i>E_CO*10⁶/T</i>)	0,153 gCO/tkm
Emissões de NMCH por tkm (<i>E_NMHC*10⁶/T</i>)	0,031 gNMHC/tkm
Emissões de NOx por tkm (<i>E_NOx*10⁶/T</i>)	0,230 gNOx/tkm

Transportes rodoviários na origem e no destino

De acordo com a metodologia do item 3.5.3, as emissões de CO, NMHC e NOx dos transportes rodoviários na origem e no destino para a rota em estudo encontram-se na Tabela 36.

Tabela 36. Emissões de CO, NMHC e NOx dos transportes rodoviários na origem e no destino.

Transporte	Transporte rodoviário na origem	Transporte rodoviário no destino
Cidade de origem do transporte do contêiner cheio	Aquiraz – CE	Santos – SP
Cidade de destino do transporte do contêiner cheio	Pecem – CE	Barueri – SP
Distância total percorrida (<i>Dist</i>) (incluindo viagem de vazio)	180 km	210 km
Toneladas-quilometro úteis (<i>T</i>)	1.967 tkm	2.295 tkm
1) Tipo de combustível (a)	Diesel	Diesel
1) Tipo de veículo (b)	Carreta 3 eixos (em termos da Tabela 17, aproximada para caminhão pesado, pois PBT > 15t)	Carreta 3 eixos (em termos da Tabela 17, aproximada para caminhão pesado, pois PBT > 15t)
2) Tecnologia de controle de emissão (c)	P5	P5
3) Gases a serem analisados (i)	CO, NMHC e NOx	CO, NMHC e NOx
4) Fator de emissão de gCO por kWh (<i>FE_CO</i> Wh)	0,83 gCO/kWh	0,83 gCO/kWh
4) Fator de emissão de gNMHC por kWh (<i>FE_NMHC</i> Wh)	0,16 gNMHC/kWh	0,16 gNMHC/kWh
4) Fator de emissão de gNOx por kWh (<i>FE_NOx</i> Wh)	4,67gNOx/kWh	4,67gNOx/kWh
4) Fator de emissão de kgCO por TJ (<i>FE_CO</i> tj = <i>FCO</i> Wh*277,7)	230 kgCO/TJ	230 kgCO/TJ
4) Fator de emissão de kgNMHC por TJ (<i>FE_NMHC</i> tj = <i>FNMHC</i> Wh*277,7)	44 kgNMHC/TJ	44 kgNMHC/TJ
4) Fator de emissão de kgNOx por TJ (<i>FE_NOx</i> tj = <i>FNOx</i> Wh*277,7)	1.297 kgNOx/TJ	1.297 kgNOx/TJ
5) Rendimento do veículo (<i>N</i>) (média entre rendimento carregando contêiner cheio e vazio) Obs: abaixo do rendimento de 3,17 previsto na Tabela 20, o que está coerente, pois na verdade o veículo é uma carreta 3 eixos, que consome mais combustível do que um caminhão pesado	2,1 km/Ldiesel	2,1 km/Ldiesel
5) Fator de conversão de unidade física para tep – diesel (<i>Fconvtep</i>)	0,848 tep/m ³	0,848 tep/m ³
5) Energia consumida (<i>CE</i> = (<i>I/N</i>)* <i>Dist</i> *10 ⁻³ * <i>Fconvtep</i> *41,868*10 ⁻³)	3,04*10 ⁻³ TJ	3,55*10 ⁻³ TJ
6) Emissões de CO (<i>E_CO</i> = <i>FE_CO</i> tj* <i>CE</i>)	0,701 kgCO	0,818 kgCO
6) Emissões de NMHC (<i>E_NMHC</i> = <i>FE_NMHC</i> tj* <i>CE</i>)	0,135 kgNMHC	0,158 kgNMHC
6) Emissões de NOx (<i>E_NOx</i> = <i>FE_NOx</i> tj* <i>CE</i>)	3,947 kgNOx	4,604 kgNOx
Emissões de CO por tkm (<i>E_CO</i> *1000/T)	0,357 gCO/tkm	0,357 gCO/tkm
Emissões de NMCH por tkm (<i>E_NMHC</i> *1000/T)	0,069 gNMHC/tkm	0,069 gNMHC/tkm
Emissões de NOx por tkm (<i>E_NOx</i> *1000/T)	2,006 gNOx/tkm	2,006 gNOx/tkm

Transporte de cabotagem PA-PA

Consolidando os resultados das tabelas 35 e 36, a Tabela 37 mostra as emissões de CO, NMHC e NOx totais para o transporte de cabotagem PA-PA da rota em análise.

Tabela 37. Emissões de CO, NMHC e NOx totais para o transporte de cabotagem PA-PA.

Transporte	Transporte rodoviário na origem	Transporte marítimo total	Transporte rodoviário no destino	Transporte de cabotagem PA-PA
Toneladas-quilometro úteis (T)	1.967 tkm	110.119.580 tkm	2.295 tkm	110.123.843 tkm
Emissões de CO (E_{CO})	$0,701 \times 10^{-3}$ tCO	16,9 tCO	$0,818 \times 10^{-3}$ tCO	16,9 tCO
Emissões de NMHC (E_{NMHC})	$0,135 \times 10^{-3}$ tNMHC	3,4 tNMHC	$0,158 \times 10^{-3}$ tNMHC	3,4 tNMHC
Emissões de NOx (E_{NOx})	$3,947 \times 10^{-3}$ tNOx	25,4 tNOx	$4,604 \times 10^{-3}$ tNOx	25,4 tNOx
Emissões de CO por tkm ($E_{CO} \times 10^6 / T$)	0,357 gCO/tkm	0,153 gCO/tkm	0,357 gCO/tkm	0,153 gCO/tkm
Emissões de NMCH por tkm ($E_{NMHC} \times 10^6 / T$)	0,069 gNMHC/tkm	0,031 gNMHC/tkm	0,069 gNMHC/tkm	0,031 gNMHC/tkm
Emissões de NOx por tkm ($E_{NOx} \times 10^6 / T$)	2,006 gNOx/tkm	0,230 gNOx/tkm	2,006 gNOx/tkm	0,230 gNOx/tkm

4.5.2 Transporte puro rodoviário

Seguindo a metodologia do item 3.5.3, a Tabela 38 mostra as emissões de CO, NMHC e NOx do transporte puro rodoviário da rota em estudo.

Tabela 38. Emissões de CO, NMHC e NOx para o transporte puro rodoviário.

Transporte		Transporte rodoviário do contêiner vazio Pecem - Aquiraz	Transporte rodoviário do contêiner cheio Aquiraz - Barueri	Transporte rodoviário do contêiner vazio Barueri - Pecem	Transporte puro rodoviário total		
Cidade de origem	Pecem – CE	Aquiraz – CE	Barueri – SP	Pecem – CE			
Cidade de destino	Aquiraz – CE	Barueri - SP	Pecem – CE	Pecem – CE			
Distância (<i>Dist</i>)	90 km	2.947 km	3.003 km	6.040 km			
Toneladas-quilometro úteis (<i>T</i>)	0 tkm	64.418 tkm	0 tkm	64.418 tkm			
1) Tipo de combustível (a)	Diesel						
2) Tipo de veículo (b)	Carreta 3 eixos (em termos da Tabela 17, aproximada para caminhão pesado, pois PBT > 15t)						
3) Tecnologia de controle de emissão (c)	P5						
4) Gases a serem analisados (i)	CO, NMHC e NOx						
Fator de emissão de gCO por kWh (<i>FE_COkWh</i>)	0,83 gCO/kWh						
Fator de emissão de gNMHC por kWh (<i>FE_NMHCkWh</i>)	0,16 gNMHC/kWh						
Fator de emissão de gNOx por kWh (<i>FE_NOxkWh</i>)	4,67gNOx/kWh						
5) Rendimento do veículo (<i>N</i>) Obs: abaixo do rendimento de 3,17 previsto na Tabela 20, o que está coerente, pois na verdade o veículo é uma carreta 3 eixos, que consome mais combustível do que um caminhão pesado	2,2 km/Ldiesel	2,0 km/Ldiesel	2,2 km/Ldiesel				
Fator de conversão de unidade física para tep – diesel (<i>Fconvtep</i>)	0,848 tep/m ³						
Energia consumida (<i>CE</i> = (<i>1/N</i>)* <i>Dist</i> *10 ⁻³ * <i>Fconvtep</i> *41,868*10 ⁻³)	1,45*10 ⁻³ TJ	52,32*10 ⁻³ TJ	48,46*10 ⁻³ TJ	102,23*10⁻³ TJ			
6) Emissões de CO (<i>E_CO</i> = <i>FE_COtj</i> * <i>CE</i>)	0,3 kgCO	12,1 kgCO	11,2 kgCO	23,6 kgCO			
Emissões de NMHC (<i>E_NMHC</i> = <i>FE_NMHCtj</i> * <i>CE</i>)	0,1 kgNMHC	2,3 kgNMHC	2,2 kgNMHC	4,5 kgNMHC			
Emissões de NOx (<i>E_NOx</i> = <i>FE_NOxtj</i> * <i>CE</i>)	1,9 kgNOx	67,8 kgNOx	62,8 kgNOx	132,6 kgNOx			
Emissões de CO por tkm (<i>E_CO*1000/T</i>)	0,366 gCO/tkm						
Emissões de NMCH por tkm (<i>E_NMHC*1000/T</i>)	0,071 gNMHC/tkm						
Emissões de NOx por tkm (<i>E_NOx*1000/T</i>)	2,058 gNOx/tkm						

4.5.3 Análise comparativa de resultados – Método *bottom-up*

O Gráfico 11 mostra a comparação entre as emissões de CO, NMHC e NOx por tonelada-quilometro do transporte de cabotagem PA-PA e do transporte puro rodoviário, calculadas pelo método *bottom-up* proposto pelo IPCC. Destaca-se que as emissões em g/tkm dos três poluentes no caso do transporte puro rodoviário são superiores às emissões do transporte de cabotagem PA-PA.

As emissões de gCO/tkm e de gNMHC/tkm do transporte puro rodoviário são cerca de 2 vezes maiores do que as do transporte de cabotagem PA-PA, e as de gNOx/tkm, aproximadamente 9 vezes maiores.

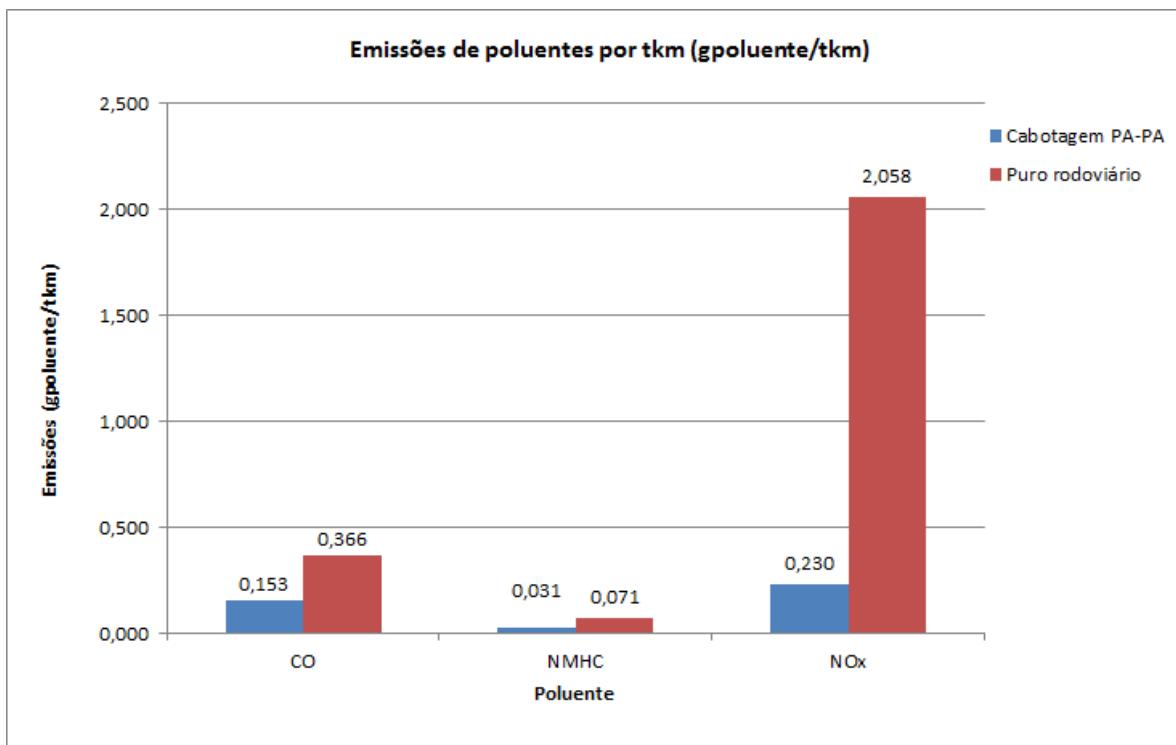


Gráfico 11. Emissões de gCO, gNMHC e gNOx por tkm – cabotagem PA-PA X puro rodoviário.

4.6 Avaliação do Ciclo de Vida – comparativo entre transporte de cabotagem PA-PA e puro rodoviário

Definição de objetivo e escopo

O objetivo do presente estudo de ACV é comparar os impactos ambientais causados pelo transporte de cabotagem PA-PA e pelo transporte puro rodoviário para a rota escolhida, sendo destinado à empresa Aliança Navegação e Logística e à Universidade de São Paulo.

O escopo do estudo compreende o transporte puro rodoviário de contêineres entre as cidades de Aquiraz-CE e Barueri-SP e o transporte de cabotagem PA-PA entre as mesmas cidades. No entanto, como o software SimaPro não considera as viagens rodoviárias de retorno dos contêineres vazios, para ambos os casos serão consideradas apenas as viagens “de ida”. A unidade funcional escolhida é o tkm (tonelada-quilometro).

A Tabela 39 detalha o escopo do estudo, bem como as entradas a serem inseridas no SimaPro. É válido destacar que foram colocados valores equivalentes de tkm para os transportes rodoviários, conforme cálculos mostrados na própria tabela.

Tabela 39. Escopo da ACV e entradas do SimaPro.

Escopo						Entradas a serem inseridas no SimaPro	
Transporte	Componentes do transporte	Tipo de veículo	Carga média por veículo (Q)	Número de veículos (N)	Distância (D)	Tkm (Q*N*D)	Tipo de veículo – SimaPro
Transporte de cabotagem PA-PA entre Aquiraz e Barueri	Transporte rodoviário de contêineres cheios de Aquiraz para Pecem	Carreta 3 eixos	21,86 t	353 carretas (7.710,31/21,86)	90 km	694,460 tkm	Articulated lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 40 t total weight, 27 t max payload RER S
	Transporte marítimo de contêineres cheios de Pecem para Santos	Navio porta-contêiner	7.710,31 t	1 navio	3.184 km	24.549.633 tkm	Contêiner ship ocean, technology mix, 27.500 dwt pay load capacity RER S
	Transporte rodoviário de contêineres cheios de Santos para Barueri	Carreta 3 eixos	21,86 t	353 carretas (7.710,31/21,86)	105 km	810.204 tkm	Articulated lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 40 t total weight, 27 t max payload RER S
Transporte puro rodoviário entre Aquiraz e Barueri	Transporte rodoviário de contêineres cheios de Aquiraz para Barueri	Carreta 3 eixos	21,86 t	353 carretas (7.710,31/21,86)	2.947 km	22.739.721 tkm	Articulated lorry transport, Euro 0, 1, 2, 3, 4 mix, 40 t total weight, 27 t max payload RER S

Análise de inventário do ciclo de vida (ICV)

Como a etapa mais relevante para o presente estudo de ACV é a avaliação de impacto do ciclo de vida, o inventário para o transporte de cabotagem PA-PA e para o transporte puro rodoviário foi colocado no Anexo II.

Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

A AICV de cada transporte, dividida por categorias de impacto em termos de pontos, encontra-se no Gráfico 12. A pontuação final do impacto ambiental total de cada transporte está no Gráfico 13.

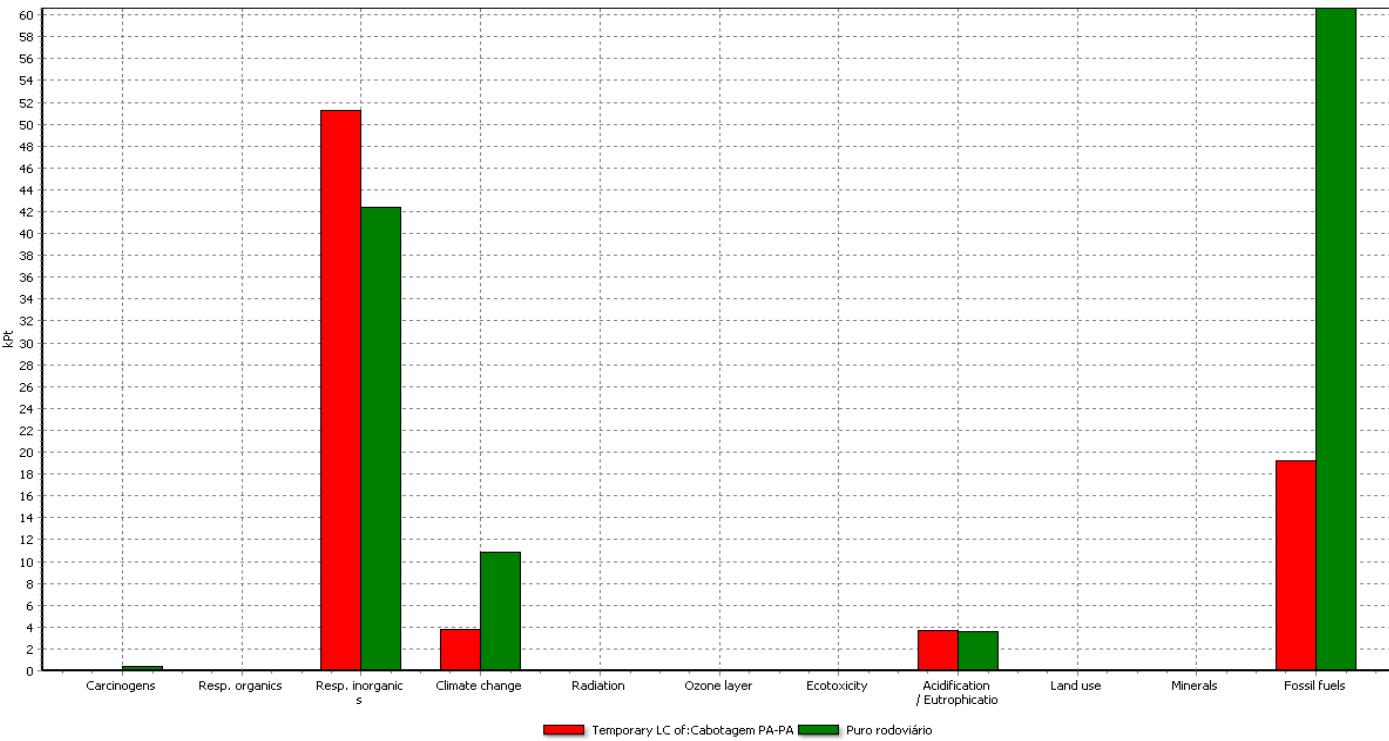


Gráfico 12. AICV por categorias de impacto (kPt) - cabotagem PA-PA X puro rodoviário.

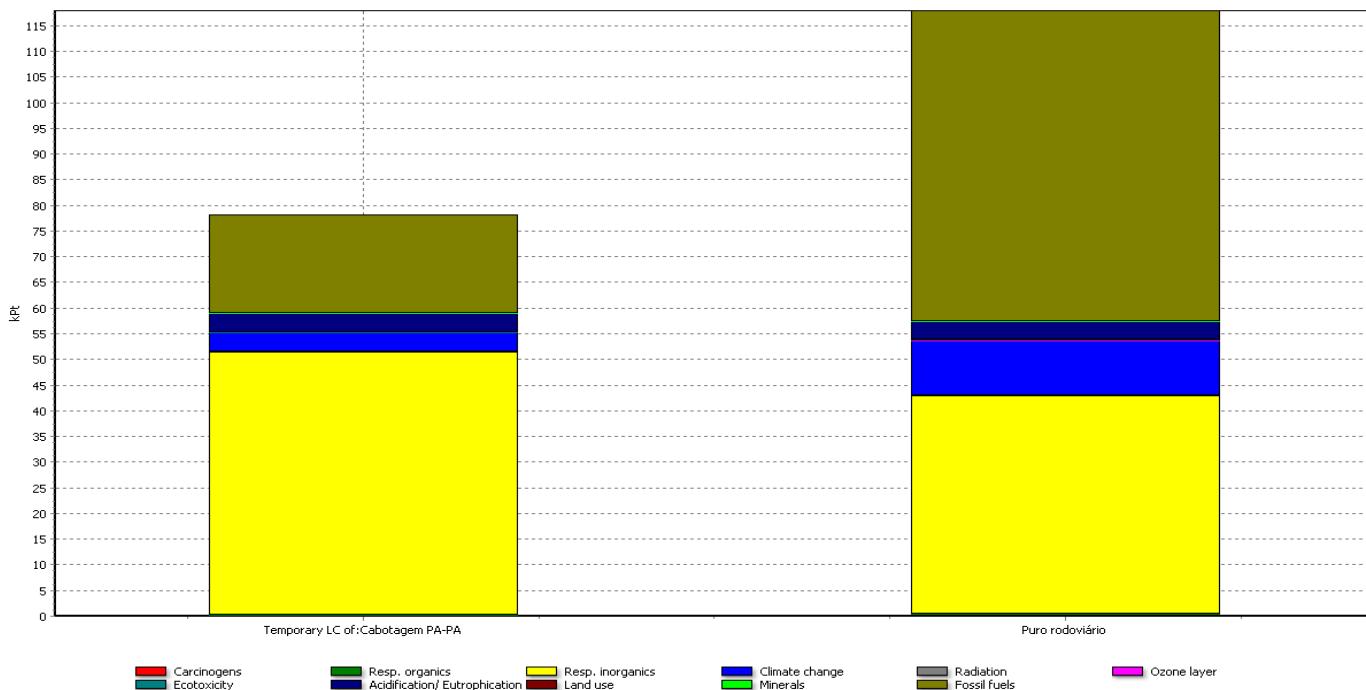


Gráfico 13. Impacto ambiental total (kPt) - cabotagem PA-PA X puro rodoviário.

Interpretação

O Gráfico 12 mostra que, excetuando-se a categoria de impacto “respiração de inorgânicos”, para as demais categorias o transporte puro rodoviário é mais danoso ao meio ambiente do que o transporte de cabotagem PA-PA (apresenta maior pontuação de impacto). O impacto total do transporte puro rodoviário (118 kPts) é 51% maior do que o impacto do transporte de cabotagem PA-PA (78 kPts), fato ilustrado pelo Gráfico 13.

Destaca-se como principal limitação dessa análise, no entanto, o fato de que os dados do inventário são advindos do banco de dados ELCD, banco de dados este que foi construído baseado em informações europeias que não necessariamente refletem a realidade brasileira.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise comparativa entre o transporte rodoviário e o transporte de cabotagem PA-PA realizado pela empresa Aliança Navegação e Logística, do ponto de vista da sustentabilidade, para uma rota representativa da organização.

Esse objetivo foi atingido por meio da adaptação e aplicação de quatro modelos diversos de análise ambiental, que consistiram em: método para cálculo da pegada de carbono (emissões de CO₂e) proposto por professores da universidade de Westminster; método *top-down* para cálculo de emissões de CO₂ proposto pelo IPCC, método *bottom-up* para cálculo de emissões de CO, NMHC e NOx proposto pelo IPCC e modelo de avaliação de ciclo de vida.

Os resultados obtidos por meio da aplicação dos quatro métodos foram unâimes: em todos os aspectos ambientais avaliados (gCO₂e/tkm, gCO₂/tkm, gCO/tkm, gNMHC/tkm, gNOx/tkm e impacto ambiental total em kPts) o transporte de cabotagem PA-PA mostrou-se显著mente mais vantajoso do que o transporte puro rodoviário. Sendo assim, a Aliança pode utilizar o estudo realizado para valorizar o serviço de cabotagem. Além de demonstrar detalhadamente que o transporte de cabotagem é mais vantajoso ambientalmente do que o puro rodoviário em vários aspectos, a própria realização do estudo corrobora e reforça a preocupação da empresa com a sustentabilidade, o que é visto como positivo por seus clientes. A Aliança pode ainda aplicar os modelos apresentados para outras rotas que julgar relevantes, obtendo rapidamente dados ambientais específicos para cada trajeto.

A respeito de recomendações para futuros trabalhos, pode-se tentar combinar a análise ambiental efetuada com aspectos não considerados no presente estudo, como custo e tempo de duração dos transportes, por exemplo, para obter-se uma avaliação mais geral dos transportes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (2006) *NBR 9762:2005*: Veículo rodoviário de carga. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Brasil.

ABNT (2009a) *NBR ISO 14040*: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Brasil.

ABNT (2009b) *NBR ISO 14044*: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Brasil.

Aliança (2008). *Catálogo ambiental*. Disponível em http://www.alianca.com.br/alianca/media/sharedmedia/dokumente/brochures/Environmental_brochure~1.pdf

Aliança. Site da empresa. <<http://www.alianca.com.br>>

Asoke Dey, Paul LaGuardia, Mahesh Srinivasan, (2011). *Building sustainability in logistics operations: a research agenda*, Management Research Review, Vol. 34 Iss: 11 pp. 1237 – 1259.

Bartholomeu, D.B (2006) *Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras*. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz“, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Bernardes, J.A. e Ferreira, F.P.M. (2003) *Sociedade e Natureza*. In: Cunha, S.B. e Guerra, A.J.T. (Orgs). *A questão Ambiental: Diferentes Abordagens*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

Biaso, A. J. (2006); *O Porto de Salvador - Análise da realidade atual, suas necessidades e comparações pós lei 8.630/93*. Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Brino, H. R. H.; Francisco, A. C.; Piekarski; Luz, L. M.; Zocche L. (2012), *Avaliação do Ciclo de Vida: Métodos para AIVC*. Artigo.

Campos, E.M., Silva, E.C., Gómez, C.R.P., (2007) *Influência da Sustentabilidade na Competitividade Empresarial: Um Modelo da Relação Através da Utilização de Indicadores.* *Anais do IX – ENGEMA* Curitiba, PR, Brasil.

CEL/ COPPEAD (2008) *Panorama Logístico: Custos Logísticos no Brasil 2008/2006.* Relatório de Pesquisa.

Coelho, L.C. (2010) *Tipos de caminhões – tamanhos e capacidades.* Artigo disponível em <http://www.logisticadescomplicada.com/tipos-de-caminhoes-tamanhos-e-capacidades/>

CONTRAN (2007) – *Lei da Balança.* Disponível em <http://www.sulcarj.com.br/leidabalan%C3%A7a.html>

Fogliatti, M.C., Filippo, S., Goudard, B. (2004) *Avaliação de Impactos Ambientais: aplicação aos Sistemas de Transporte.* Rio de Janeiro. Interciênciia.

Hijjar, M. F. (2011) *Sustentabilidade ambiental no supply chain.* Artigo disponível em: http://www.ilos.com.br/web/index.php?option=com_content&task=view&id=1763&Itemid=74&lang=br

Hijjar, M. F., Lobo, A. (2011) *Cenário da infra-estrutura rodoviária no Brasil.* Artigo disponível em:

http://www.ilos.com.br/web/index.php?option=com_content&task=view&id=1807&Itemid=74&lang=br

ILOS (2010). *Panorama Custos Logísticos no Brasil.* Rio de Janeiro. Instituto ILOS

ILOS (2011). *Panorama ILOS: Logística Verde: Iniciativas de sustentabilidade ambiental das empresas no Brasil 2011.*

Jappur, R. F. (2004) *A Sustentabilidade Corporativa Frente às Diversas Formações de Cadeias Produtiva Segundo a Percepção de Especialistas.* Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Keedi, s.; Mendonça (2003). *Transporte e Seguro no Comércio Exterior*. São Paulo: Aduaneiras.

Leonardi, J., Browne, M. (2009) *Method for assessing the carbon footprint of maritime freight transport: european case study and results*. Artigo disponível em http://www.greenlogistics.org/SiteResources/addeb_Leonardi.pdf

Luz, L. M (2011). *Proposta de modelo para avaliar a contribuição dos indicadores obtidos na análise do ciclo de vida sobre a geração de inovação na indústria*. 2011. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa.

MCT (2010a) *Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa - emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis: abordagem top-down*. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília, DF.

MCT (2010b) *Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa - emissões de gases de efeito estufa por queima de combustíveis: abordagem bottom-up*. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília, DF.

MMA (2011). *Primeiro inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários*. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF.

MME (2011). *Balanço Energético Nacional*. Ministério de Minas e de Energia. Brasília, DF.

Nigri, E. M (2012). *Análise comparativa do ciclo de vida de produtos alimentícios industriais e artesanais da culinária mineira*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

Nota Técnica DEA 15/11 (2011) - *Caracterização do cenário macroeconômico para os próximos 10 anos (2012-2021)* – Empresa de Pesquisa Energética (EPE) Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20120104_2.pdf

Pereira, Ana Cristina da Silva (2003) *Transporte Intermodal: Um estudo do modelo estadiunidense-europeu versus situação brasileira*. Dissertação de mestrado Copread, UFRJ.

Ribeiro, S. K. (2010) *Sistema brasileiro de cap-and-trade no setor de Transportes-vantagens, desafios e barreiras à sua implementação*. Artigo disponível em: <http://www.fbds.org.br/fbds/public/docs/EstudoTransportes.pdf>

Rizet, C.; Browne, M.; Léonardi; Allen, Julian; Cornélis, E (2008) *Energy efficiency and greenhouse gas emissions of different supply chains: a comparison of french, uk and belgian cases*. Artigo disponível em: http://www.inrets.fr/fileadmin/ur/dest/PDF/Journee_Supply-Chain/SupplyChainCO2-France-Be-UK.pdf

Rodrigues, P.R.A. (2003) *Gestão Estratégica de Armazenagem*. São Paulo: Aduaneiras.

Sustainability, IFC, Instituto Ethos (2003) *Developing Value*. Disponível em: <http://www.sustainability.com/>

Takahashi, Sérgio (2008). *Avaliação Ambiental do Setor de Transporte de Cargas: Comparação de Métodos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 90 p.

Takeda, A (2008). *Levantamento de Métodos de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) e Análise Comparativa dos Métodos mais Utilizados*. Monografia apresentada ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

UFMG-DETG (2007). *Manual de transportes. Cap. 5. Transporte Aquaviário*. Disponível em: <http://www.logisticadescomplicada.com/wp-content/uploads/2010/07/Transporte-Maritimo-Portos.pdf>

Valt, R. B. G (2004). *Análise do Ciclo de Vida de embalagens PET, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais*. Mestrado em

Concentração em Engenharia de Processos Térmicos e Químicos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 208p.

VROM (2000). *Eco-Indicator 99 Manual for designers*. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment

Wilson, I.; Roach, P. (2000). *Container stowage planning: a methodology for generating computerised solutions*, *Journal of the Operational Research Society*, v. 51, p. 1248-1255.

ANEXOS

ANEXO I – TIPOS DE CONTEINERES DA ALIANÇA

168

CONTAINER EQUIPMENT

Size	20' x 8' x 8'6"	20' x 8' x 8'6"	20' x 8' x 8'6"	
ISO-Code	22R1	22R1	22G1	
Equipment-Type	RF Integrated Reefer Container	IH Integrated Reefer Hanging Cargo	DC/DV Dry Cargo Container	
Interior Dimensions (Length, Width, Height)	5,558 mm (L) 2,300 mm (W) 2,324 mm (H)	5,555 mm (L) 2,294 mm (W) 2,291 mm (H)	5,898 mm (L) 2,352 mm (W) 2,393 mm (H)	
Door Opening (Width, Height)	2,290 mm (W) 2,290 mm (H)	2,290 mm (W) 2,290 mm (H)	2,340 mm (W) 2,280 mm (H)	
Weights	Gross Tare Payload	24,000 kg / 30,480 kg* 2,990 kg / 3,050 kg* 21,010 kg / 27,430 kg*	30,480 kg 3,522 kg 28,958 kg	24,000 kg / 30,480 kg* 2,237 kg / 2,340 kg* 21,763 kg / 28,140 kg*
Volume	30.00 cbm	29.20 cbm	33.29 cbm / 32 cbm	
Size	40' x 8' x 9'6"	40' x 8' x 9'6"	40' x 8' x 8'6"	
ISO-Code	45R1	45G1	42G1	
Equipment-Type	RH Integrated Reefer High Cube Container	HC Dry Cargo High Cube Container	DC / DV Dry Cargo Container	
Interior Dimensions (Length, Width, Height)	11,582 / 11,651 mm (L) 2,296 / 2,310 mm (W) 2,552 / 2,607 mm (H)	12,032 mm (L) 2,352 mm (W) 2,698 mm (H)	12,032 mm (L) 2,352 mm (W) 2,393 mm (H)	
Door Opening (Width, Height)	2,288 / 2,310 mm (W) 2,490 / 2,576 mm (H)	2,340 mm (W) 2,585 mm (H)	2,340 mm (W) 2,280 mm (H)	
Weights	Gross Tare Payload	34,800 kg 4,260 / 4,900 kg 29,900 / 30,330 kg	32,500 kg 4,000 kg 28,500 kg	32,500 kg 3,800 kg 28,700 kg
Volume	68.6 / 70 cbm	76.37 cbm	67.34 cbm	

* Various 20 ft equipment types are available in above mentioned range

** With 16 ventilations each side panel – Top

20' x 8' x 8'6"	20' x 8' x 8'6"	20' x 8' x 8'6"	
22V0	22U1	22P3	
VT Top Vented**	OT Open Top Container	FR Flat Rack Collapsible	
5,898 mm (L) 2,352 mm (W) 2,393 mm (H)	5,898 mm (L) 2,352 mm (W) 2,350 mm (H)	6,034 mm (L) 2,436 mm (W) 2,219 mm (H)	
2,340 mm (W) 2,280 mm (H)	2,340 mm (W) 2,280 mm (H)	– –	
24,000 kg 2,400 kg 21,600 kg	22,773 kg / 30,480 kg* 2,337 kg / 2,290 kg* 20,436 kg / 28,190 kg*	30,000 kg / 40,000 kg* 2,600 kg / 2,800 kg* 27,400 kg / 37,200 kg*	
33.12 cbm	32.31 cbm	–	
40' x 8' x 8'6"	40' x 8' x 9'6"	40' x 8' x 8'6"	40' x 8' x 9'6"
42U1	45U1	42P3	45P3
OT Open Top Container	OH Open Top High Cube Container	FR Flat Rack Collapsible	FH/HC Flat Rack Collapsible
12,032 mm (L) 2,352 mm (W) 2,330 mm (H)	12,032 mm (L) 2,352 mm (W) 2,655 mm (H)	11,950 mm (L) 2,436 mm (W) 1,978 mm (H)	11,950 mm (L) 2,436 mm (W) 2,260 mm (H)
2,340 mm (W) 2,273 mm (H)	2,340 mm (W) 2,585 mm (H)	– –	– –
30,480 kg 4,200 kg 26,280 kg	32,500 kg 4,300 kg 28,200 kg	45,000 kg 5,180 kg 39,820 kg	45,000 kg 5,500 kg 39,500 kg
63.97 cbm	75.10 cbm	–	–

ANEXO II – INVENTÁRIO DO CILO DE VIDA – CABOTAGEM PA-PA E PURO RODOVIÁRIO

No	Substance	Compartiment	Unit	Temporary LC of Cabotagem	Puro rodoviário
1	Acenaphthene	Water	g	1,13	3,55
2	Acenaphthylene	Water	g	0,43	1,35
3	Acetaldehyde	Air	g	8,48	26,8
4	Acetic acid	Air	g	7,68	24,8
5	Acetic acid	Water	g	56,8	179
6	Acetone	Air	g	7,58	24
7	Acidity, unspecified	Air	mg	9,36	29,5
8	Acidity, unspecified	Water	g	0,475	1,5
9	Acrolein	Air	mg	52,6	166
10	Acrylonitrile	Water	µg	110	375
11	Air	Raw	tn.lg	25,7	83,6
12	Aluminium	Water	g	28,3	95,2
13	Aluminium	Soil	g	12,3	38,6
14	Aluminium, 24% in bauxite, 11% in crude ore, in ground	Raw	g	154	487
15	Americium-241	Water	Bq	50,3	169
16	Ammonia	Air	oz	23,6	211
17	Ammonia	Water	g	278	879
18	Ammonia	Soil	kg	5,62	17,7
19	Ammonium, ion	Air	µg	37,5	127
20	Anthracene	Air	mg	7,45	23,5
21	Anthracene	Water	mg	317	999
22	Antimony	Air	mg	42	137
23	Antimony	Water	µg	0,399	1,3
24	Antimony-124	Air	mBq	17,7	59,4
25	Antimony-124	Water	Bq	0,524	1,76
26	Antimony-125	Water	Bq	0,357	1,2
27	AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	Water	g	85	265
28	Argon-41	Air	kBq	111	374
29	Arsenic	Air	g	1,08	3,37
30	Arsenic	Soil	mg	4,35	13,7
31	Arsenic trioxide	Air	µg	14	44,2
32	Arsenic, ion	Water	g	34,6	109
33	Arsine	Air	mg	1,17	3,67
34	Barite, 15% in crude ore, in ground	Raw	kg	252	795
35	Barium	Air	g	160	505
36	Barium	Water	kg	1,18	3,71
37	Basalt, in ground	Raw	kg	1,96	6,64
38	Benzene	Air	oz	21	258
39	Benzene	Water	g	253	797
40	Benzene, 1,3,5-trimethyl-	Air	µg	2,05	6,68
41	Benzene, ethyl-	Air	g	8,18	26,9
42	Benzene, ethyl-	Water	g	28,3	89,1
43	Benzo(a)anthracene	Air	mg	3,75	11,8
44	Benzo(a)anthracene	Water	mg	251	791

Comparing 1 p 'Temporary LC of Cabotagem PA-PA' with 1 p 'Puro rodoviário'; Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/A

No	Substance	Compartment	Unit	Temporary LC of: Cabotagem	Puro rodoviário
45	Benzo(a)pyrene	Air	mg	2,02	6,41
46	Benzo(b)fluoranthene	Air	mg	6,69	21,1
47	Benzo(b)fluoranthene	Water	mg	277	874
48	Benzo(g,h,i)perylene	Air	mg	3,35	10,5
49	Beryllium	Air	mg	12,7	41
50	Beryllium	Water	g	1,55	4,89
51	BOD5, Biological Oxygen Demand	Water	oz	15,8	49,3
52	Boron	Air	g	7,7	25,2
53	Boron	Water	g	1,13	3,86
54	Bromide	Soil	g	1,67	5,25
55	Bromine	Air	g	2,13	6,99
56	Bromine	Water	mg	20,4	64,2
57	Butadiene	Air	µg	31,8	109
58	Butane	Air	kg	6,88	21,7
59	Cadmium	Air	g	0,361	1,09
60	Cadmium	Water	g	18,4	58,2
61	Cadmium	Soil	mg	39,4	124
62	Calcite, in ground	Raw	kg	211	671
63	Calcium	Soil	g	2,52	8,22
64	Calcium chloride	Raw	µg	28,1	95,1
65	Calcium fluoride waste	Waste	g	4,79	16,1
66	Calcium, ion	Water	g	220	746
67	Carbon-14	Air	kBq	51,1	172
68	Carbon-14	Water	kBq	2,55	8,57
69	Carbon dioxide, in air	Raw	kg	46,6	158
70	Carbon dioxide, land transformation	Air	tn.lg	379	1,08E3
71	Carbon disulfide	Air	µg	49,7	166
72	Carbon monoxide, fossil	Air	tn.sh	1,05	1,72
73	Carbonate	Water	kg	74	233
74	Cesium-134	Air	Bq	14	47
75	Cesium-134	Water	kBq	2,56	8,61
76	Cesium-137	Air	Bq	28,6	96,1
77	Cesium-137	Water	kBq	23,7	79,6
78	Chloride	Air	g	206	623
79	Chloride	Water	tn.lg	5,81	18,3
80	Chloride	Soil	kg	1,95	6,13
81	Chlorine	Air	µg	140	462
82	Chlorine	Water	g	40,4	136
83	Chromium	Air	g	3,27	9,91
84	Chromium	Water	g	55	173
85	Chromium	Soil	g	10,9	34,4
86	Chromium VI	Water	ng	1,64	5,17
87	Chromium, in ground	Raw	g	4,7	15,5
88	Chromium, ion	Air	mg	3,01	9,5

Comparing 1 p 'Temporary LC of: Cabotagem PA-PA' with 1 p 'Puro rodoviário'; Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/A

No	Substance	Compartiment	Unit	Temporary LC of: Cabotagem	Puro rodoviário
89	Chromium, ion	Water	mg	91,2	306
90	Chromium, ion	Soil	µg	27,9	88,1
91	Chrysene	Air	mg	9,21	29
92	Chrysene	Water	g	1,41	4,46
93	Clay, bentonite, in ground	Raw	kg	104	329
94	Clay, unspecified, in ground	Raw	kg	27,9	87,9
95	Cobalt	Air	g	1,65	5
96	Cobalt	Water	g	27,1	85,5
97	Cobalt	Soil	mg	195	613
98	Cobalt-58	Air	mBq	87,6	295
99	Cobalt-58	Water	Bq	19,6	65,8
100	Cobalt-60	Air	Bq	2,22	7,47
101	Cobalt-60	Water	kBq	11	36,9
102	COD, Chemical Oxygen Demand	Water	kg	13,9	43,3
103	Colemanite, in ground	Raw	g	1,35	4,59
104	Construction waste	Waste	kg	9,96	33
105	Copper	Air	g	2,26	6,86
106	Copper	Water	g	63,9	201
107	Copper	Soil	mg	112	351
108	Copper, in ground	Raw	g	119	375
109	Cresol	Water	µg	284	896
110	Curium alpha	Water	Bq	66,7	224
111	Cyanide	Air	g	4,18	12,6
112	Cyanide	Water	g	1,24	3,73
113	Cyclohexane	Air	mg	1,14	3,79
114	Decane	Water	kg	2,22	7,01
115	Decane	Soil	g	2,67	9,06
116	Dibenz(a,h)anthracene	Air	mg	2,08	6,57
117	Diethanolamine	Air	ng	0,868	2,95
118	Dinitrogen monoxide	Air	kg	8,49	9,99
119	Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	Air	µg	0,404	1,3
120	Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	Water	pg	0,026	0,0881
121	Dolomite, in ground	Raw	g	0,485	1,57
122	Energy, from coal	Raw	MWh	3,42	11,3
123	Energy, from coal, brown	Raw	MWh	1,25	4,19
124	Energy, from gas, natural	Raw	MWh	75,8	238
125	Energy, from oil	Raw	TJ	4,76	15
126	Energy, from peat	Raw	MJ	94,6	325
127	Energy, from uranium	Raw	MWh	6,64	22,3
128	Energy, from wood	Raw	MJ	1,23	3,96
129	Energy, geothermal, converted	Raw	MJ	116	392
130	Energy, kinetic (in wind), converted	Raw	kWh	140	478
131	Energy, potential (in hydropower reservoir), converted	Raw	MWh	1,51	4,91
132	Energy, solar, converted	Raw	kWh	125	423

Comparing 1 p 'Temporary LC of: Cabotagem PA-PA' with 1 p 'Puro rodoviário'; Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/A

No	Substance	Compartiment	Unit	Temporary LC of: Cabotagem	Puro rodoviário
133	Ethane	Air	kg	18,4	57,8
134	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	g	0,319	1,07
135	Ethanol	Air	g	2,6	8,41
136	Ethene	Air	g	2,02	6,38
137	Ethene, chloro-	Air	g	0,617	1,94
138	Fluoranthene	Air	mg	24,3	76,5
139	Fluoranthene	Water	mg	293	922
140	Fluorene	Air	mg	77	243
141	Fluoride	Air	g	104	314
142	Fluoride	Water	oz	19,7	66,5
143	Fluoride	Soil	g	55,6	175
144	Fluorine	Air	µg	245	799
145	Fluorine	Water	mg	157	496
146	Fluorspar, 92%, in ground	Raw	mg	269	871
147	Formaldehyde	Air	g	26,3	84,6
148	Gypsum, in ground	Raw	kg	3,87	12,2
149	Heat, waste	Air	MWh	35,6	114
150	Heat, waste	Water	MWh	1,47	4,91
151	Helium	Air	mg	233	740
152	Heptane	Air	g	241	759
153	Hexamethylene diamine	Air	µg	1,87	6,38
154	Hexane	Air	oz	12,6	39,7
155	Hexane	Water	µg	31,2	98,3
156	Hydrocarbons, aromatic	Air	g	25,9	78,3
157	Hydrocarbons, aromatic	Water	g	0,868	2,79
158	Hydrocarbons, unspecified	Water	g	0,368	1,23
159	Hydrogen	Air	g	87,7	276
160	Hydrogen-3, Tritium	Air	kBq	217	730
161	Hydrogen-3, Tritium	Water	kBq	7,44E4	2,5E5
162	Hydrogen bromide	Air	mg	9,4	31,2
163	Hydrogen chloride	Air	oz	16	49,9
164	Hydrogen chloride	Water	mg	3,04	9,61
165	Hydrogen cyanide	Air	mg	1,73	5,52
166	Hydrogen fluoride	Air	g	34,3	109
167	Hydrogen fluoride	Water	mg	25,2	79,4
168	Hydrogen iodide	Air	µg	8,25	27,7
169	Hydrogen sulfide	Air	oz	18,2	57,7
170	Hydroxide	Water	mg	79,3	250
171	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	Air	mg	2,49	7,84
172	Iodine-129	Air	Bq	109	367
173	Iodine-129	Water	kBq	7,28	24,5
174	Iodine-131	Air	Bq	16,4	55,2
175	Iodine-131	Water	Bq	0,374	1,26
176	Iron	Air	g	10,7	32,4

Comparing 1 p 'Temporary LC of: Cabotagem PA-PA' with 1 p 'Puro rodoviário'; Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/A

No	Substance	Compartiment	Unit	Temporary LC of: Cabotagem	Puro rodoviário
177	Iron	Water	kg	1,17	3,85
178	Iron	Soil	g	15,9	50,2
179	Iron, 46% in ore, 25% in crude ore, in ground	Raw	kg	46,3	146
180	Kaolinite, 24% in crude ore, in ground	Raw	g	2,39	8,16
181	Krypton-85m	Air	kBq	1,88E6	6,32E6
182	Lead	Air	g	5,54	16,9
183	Lead	Water	g	15	47,3
184	Lead	Soil	mg	2,93	9,24
185	Lead compounds	Air	µg	2,41	7,88
186	Lead, in ground	Raw	kg	2,19	6,91
187	Magnesite, 60% in crude ore, in ground	Raw	mg	75,5	238
188	Magnesium	Water	g	9,21	29
189	Magnesium	Soil	g	0,366	1,19
190	Magnesium chloride	Raw	kg	6,4	20,7
191	Manganese	Air	g	0,458	1,51
192	Manganese	Water	g	38,4	122
193	Manganese	Soil	g	2,28	7,18
194	Manganese-54	Water	kBq	1,7	5,72
195	Manganese, in ground	Raw	oz	12,6	39,7
196	Mercury	Air	g	0,342	1,05
197	Mercury	Water	g	0,341	1,07
198	Mercury	Soil	µg	221	695
199	Metamorphous rock, graphite containing, in ground	Raw	tn.lg	12,5	40,8
200	Methane	Air	kg	346	1,07E3
201	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	mg	73,2	246
202	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	Air	mg	42	141
203	Methane, dibromo-	Water	ng	267	891
204	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	ng	10,9	36,8
205	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	mg	67	225
206	Methane, monochloro-, R-40	Water	mg	8,33	26,6
207	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	mg	2,31	7,43
208	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	g	0,311	1,05
209	Methanol	Air	g	2,39	7,74
210	Methanol	Water	g	5,25	17,1
211	Mineral waste, from mining	Waste	tn.lg	11,9	39
212	Molybdenum	Air	g	0,836	2,52
213	Molybdenum	Water	g	2,07	6,54
214	Molybdenum, in ground	Raw	µg	259	876
215	Naphthalene	Air	g	0,783	2,47
216	Naphthalene	Water	g	37,5	118
217	Natural aggregate	Raw	kg	74,9	240
218	Nickel	Air	g	20,3	61,9
219	Nickel	Water	g	33	104
220	Nickel	Soil	g	3,15	9,93

Comparing 1 p 'Temporary LC of: Cabotagem PA-PA' with 1 p 'Puro rodoviário'; Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/A

No	Substance	Compartiment	Unit	Temporary LC of: Cabotagem	Puro rodoviário
221	Nickel, in ground	Raw	g	44,6	141
222	Nitrate	Water	g	124	395
223	Nitric oxide	Air	mg	0,759	2,39
224	Nitrogen	Air	kg	5,66	17,9
225	Nitrogen	Water	kg	1,34	4,05
226	Nitrogen oxides	Air	tn.lg	8,15	8,6
227	Nitrogen, in air	Raw	mg	3,72	11,7
228	NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	Air	kg	273	474
229	Octane	Air	g	132	417
230	Olivine, in ground	Raw	ng	14,7	49,8
231	Oxygen	Air	kg	34,8	118
232	Oxygen, in air	Raw	mg	1,88	5,91
233	Palladium	Air	ng	0,777	2,63
234	Palladium, in ground	Raw	µg	3,65	11,9
235	Particulates, < 10 um	Air	kg	184	6,23
236	Particulates, < 10 um	Water	µg	205	665
237	Particulates, < 2,5 um	Air	kg	12,1	167
238	Particulates, > 10 um	Air	µg	77,5	253
239	Particulates, > 10 um	Water	kg	255	803
240	Particulates, > 2,5 um, and < 10um	Air	kg	1,41	4,48
241	Pentane	Air	kg	2,34	7,37
242	Phenanthrene	Air	mg	246	775
243	Phenol	Air	µg	96,3	325
244	Phenol	Water	oz	18,6	58,6
245	Phosphate	Water	g	262	811
246	Phosphate	Soil	kg	3,22	10,1
247	Phosphine	Air	µg	2,7	8,79
248	Phosphorus, in ground	Raw	mg	33,7	106
249	Platinum, in ground	Raw	µg	43,9	143
250	Plutonium-alpha	Air	mBq	3,39	11
251	Plutonium-alpha	Water	Bq	200	674
252	Polychlorinated biphenyls	Air	mg	2,55	8,05
253	Potassium	Water	g	8,82	27,8
254	Potassium	Soil	kg	1,41	4,43
255	Potassium chloride	Raw	mg	40,7	128
256	Propane	Air	kg	33,2	105
257	Propane, 1,2-dichloro-	Water	ng	1,5	5,12
258	Propene	Air	g	0,636	2,11
259	Propionic acid	Air	mg	1,02	3,16
260	Pumice, in ground	Raw	mg	232	792
261	Radioactive tailings	Waste	kg	8,39	28,2
262	Radium-226	Water	kBq	830	2,79E3
263	Radon-222	Air	kBq	2,74E4	9,22E4
264	Rejects	Waste	kg	191	602

Comparing 1 p 'Temporary LC of: Cabotagem PA-PA' with 1 p 'Puro rodoviário'; Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/A

No	Substance	Compartiment	Unit	Temporary LC of: Cabotagem	Puro rodoviário
265	Rh, Rh 2,4E-5%, Pt 4,8E-4%, Pd 2,0E-4%, Ni 3,7E-2%, Cu 5,2E-2% in ore, in ground	Raw	ng	122	399
266	Rhodium	Air	ng	0,75	2,54
267	Ruthenium-106	Water	Bq	50,3	169
268	Sand, unspecified, in ground	Raw	kg	33,9	107
269	Scandium	Air	µg	4,75	15,4
270	Selenium	Air	g	1,41	4,43
271	Selenium	Water	g	1,39	4,25
272	Silver	Air	pg	231	755
273	Silver-110	Water	mBq	76,5	257
274	Silver, ion	Water	mg	1,37	4,5
275	Slag (uranium conversion)	Waste	g	31,7	107
276	Slags	Waste	oz	14,5	49,6
277	Slate, in ground	Raw	ng	24,8	83,8
278	Sodium	Soil	mg	217	709
279	Sodium chloride, in ground	Raw	g	99,3	325
280	Sodium sulphate, various forms, in ground	Raw	µg	129	408
281	Sodium, ion	Water	kg	7,42	23,6
282	Soil, unspecified, in ground	Raw	kg	27,8	88,5
283	Strontium	Air	µg	183	593
284	Strontium	Water	g	254	788
285	Strontium	Soil	kg	3,55	11,2
286	Strontium-90	Water	kBq	2,43	8,17
287	Styrene	Air	µg	1,26	4,2
288	Sulfate	Air	mg	17,4	54,9
289	Sulfate	Water	kg	59,8	186
290	Sulfate	Soil	g	178	560
291	Sulfide	Water	kg	13,5	42,6
292	Sulfide	Soil	kg	1,07	3,36
293	Sulfite	Water	g	0,338	1,15
294	Sulfur	Water	mg	11	34,6
295	Sulfur dioxide	Air	kg	5,69E3	588
296	Sulfur hexafluoride	Air	µg	166	543
297	Sulfur, in ground	Raw	mg	3,75	12,2
298	Talc, in ground	Raw	mg	71	234
299	Tellurium	Air	mg	0,401	1,27
300	Thallium	Air	mg	2,95	9,3
301	Thallium	Water	mg	0,492	1,55
302	Tin	Air	g	0,626	2,01
303	Tin	Water	mg	0,416	1,32
304	Tin oxide	Air	ng	210	686
305	Tin, in ground	Raw	pg	23,8	80,5
306	Titanium	Air	mg	0,553	1,8
307	Titanium	Water	mg	101	337
308	Titanium, in ground	Raw	g	81,2	256
309	TOC, Total Organic Carbon	Water	kg	2,13	6,53
310	Toluene	Air	oz	3,32	47,4
311	Toluene	Water	g	141	443
312	Uranium-234	Air	Bq	119	401
313	Uranium-235	Air	Bq	459	1,54E3
314	Uranium-238	Air	Bq	680	2,27E3
315	Uranium-238	Water	kBq	14,5	48,9
316	Used air	Air	tn.lg	17,5	57,3
317	Vanadium	Air	g	131	400
318	Vanadium	Water	g	20,1	63,3
319	VOC, volatile organic compounds	Air	g	66	211
320	VOC, volatile organic compounds, unspecified origin	Water	g	8,11	24,9
321	Waste, nuclear, unspecified/kg	Waste	g	92,5	311
322	Water	Air	tn.lg	10	33,1
323	Water, river	Raw	m3	-56,6	-179
324	Water, salt, ocean	Raw	m3	5,27	16,6
325	Water, unspecified natural origin/kg	Raw	tn.lg	83	266
326	Water, well, in ground	Raw	m3	2,98	10,1
327	Xenon-131m	Air	kBq	1,54	5,17
328	Xenon-133	Air	kBq	252	846
329	Xenon-135	Air	kBq	83,2	280
330	Xenon-137	Air	Bq	21,8	73,3
331	Xenon-138	Air	kBq	2,81	9,44
332	Xylene	Air	oz	8,85	120
333	Xylene	Water	g	157	494
334	Zinc	Air	g	6,07	18,6
335	Zinc	Water	oz	19,4	61
336	Zinc	Soil	g	1,21	3,81
337	Zinc oxide	Air	µg	0,42	1,37
338	Zinc, in ground	Raw	oz	15,3	48,2

Comparing 1 p 'Temporary LC of: Cabotagem PA-PA' with 1 p 'Puro rodoviário'; Method: Eco-indicator 99 (H) V2.08 / Europe EI 99 H/A