

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS

**ANÁLISE DO TRANSPORTE INTERMODAL DA SOJA DESTINADA  
À EXPORTAÇÃO, CONSIDERANDO OS CUSTOS DE EMISSÕES DE  
CO<sub>2</sub> NO BRASIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Patrícia Regina da Silva Zaluski

Goiânia, GO, Brasil  
2018

# **ANÁLISE DO TRANSPORTE INTERMODAL DA SOJA DESTINADA À EXPORTAÇÃO, CONSIDERANDO OS CUSTOS DE EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NO BRASIL**

PATRÍCIA REGINA DA SILVA ZALUSKI

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas**.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Luiz Machado

Goiânia, GO, Brasil  
2018

Z22a

Zaluski, Patricia Regina da Silva

Análise do transporte intermodal da soja destinada à exportação, considerando os custos de emissões de CO2 no Brasil[ recurso eletrônico]/ Patricia Regina da Silva Zaluski.-- 2018.

86 f.; il.

Texto em português com resumo em inglês

Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia da Produção e Sistemas, Goiânia, 2018

Inclui referências f.67-75

1. Transporte por containers. 2. Soja - Exportação - Brasil. 3. Logística. I.Machado, Ricardo Luiz. II.Pontifícia Universidade Católica de Goiás. III. Título.

CDU: 658.788:633.34(043)

# ANÁLISE DO TRANSPORTE INTERMODAL DA SOJA DESTINADA À EXPORTAÇÃO, CONSIDERANDO OS CUSTOS DE EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> NO BRASIL

PATRÍCIA REGINA DA SILVA ZALUSKI

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás em 08 de fevereiro de 2018.

  
\_\_\_\_\_  
Prof., Dr. Marcos Lajovic Carneiro  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção e Sistemas

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Ricardo Luiz Machado (Presidente da Banca/Orientador – PUC Goiás)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Antônio Pasqualetto (Avaliador Interno – PUC (Goiás))

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Maria de Lourdes Magalhães (Avaliador **Externo** – IFG)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e minha família, por me guiarem nesta trajetória acadêmica, confiando a mim o amor aos estudos desde a infância; a sede por conhecimento; e, o anseio em alcançar os sonhos de um dia ser cientista.

Agradeço ao Professor Dr. Ricardo Luiz Machado pela confiança e por dedicar seu tempo à orientação desta dissertação. Sou grata por ter guiado meus passos na carreira acadêmica, dando conselhos de vida, ter compreendido e aconselhado nos momentos certos e nas horas certas. Agradeço a Professora Maria José Pereira Dantas pela parceria, por estar sempre disposta a ouvir e aconselhar.

Agradeço aos membros da banca examinadora, Professor Dr. Antônio Pasqualetto e Professora Dr<sup>a</sup> Maria de Lourdes Magalhães, pelas considerações e observações, especialmente por terem cedido parte de seu tempo para dedicar a leitura desta pesquisa.

Agradeço também aos grandes amigos que fiz neste mestrado: Daniela, Luana e o secretário do departamento Ernani. Sempre fornecendo o apoio e a força necessária para conclusão desta dissertação.

Agradeço a CAPES/PROSUC pela bolsa auxílio de dedicação integral.

“Os ouvidos que atendem à repreensão da vida farão a sua morada no meio dos sábios. O que rejeita a instrução menospreza a própria alma, mas o que escuta a repreensão adquire entendimento. O temor do Senhor é a instrução da sabedoria, e precedendo a honra vai a humildade.”

Provérbios 15:31-33

## RESUMO

A logística tradicional busca redução de custos com maior eficiência no serviço, atendendo às dimensões de desempenho velocidade, flexibilidade e custo. Quando o tema sustentabilidade é inserido à gestão logística, emergem análises sobre as emissões atmosféricas de CO<sub>2</sub> e seus impactos em termos de custos nos modais de transporte. Nesse contexto, o objetivo central desta pesquisa foi analisar a eficiência dos arranjos modais de escoamento da soja produzida no Brasil destinada à exportação, e de emissões de CO<sub>2</sub> para uma rede de transporte intermodal da soja de exportação no Brasil. A estimativa de emissões foi calculada com base na fórmula adaptada de relatórios da ANTT (2014a; 2014b), que seguiu metodologias apresentadas pelo IPCC e MCTI (2010). O método consiste na estimativa de emissões por fator de consumo de óleo diesel, considerando a tonelagem transportada em TKU. Os resultados obtidos apresentam as melhores rotas de escoamento da soja de exportação, considerando os custos de frete e emissões de CO<sub>2</sub>. A infraestrutura logística brasileira carece de investimentos na construção de novos terminais, de modo a favorecer o uso da intermodalidade. O modo rodoviário ainda possui menores custos logísticos e detém maior oferta e disponibilidade no mercado, em contrapartida, a intermodalidade possui os melhores desempenhos em redução de emissões.

### **Palavras-chave:**

Rede Intermodal; Transporte de Soja; Emissões de CO<sub>2</sub>.

## ABSTRACT

The traditional logistics seeks reduction of costs with greater efficiency in the service, attending to the dimensions of performance speed, flexibility and cost. When the sustainability theme is inserted into logistics management, there are emerging analyzes of atmospheric CO<sub>2</sub> emissions and their cost impacts on transportation modes. In this context, the main objective of this research was to analyze the efficiency of the modal arrangements of the outflow of soybeans produced in Brazil for export, and CO<sub>2</sub> emissions for an intermodal transport network of soybeans exported in Brazil. The emission estimate was calculated based on the adapted formula of ANTT (2014a; 2014b) reports, which followed methodologies presented by the IPCC and MCTI (2010). The method consists in the estimation of emissions by consumption factor of diesel oil, considering the tonnage transported in TKU. The results obtained show the best export routes for soybeans, considering freight costs and CO<sub>2</sub> emissions. The Brazilian logistics infrastructure needs investments in the construction of new terminals, in order to favor the use of intermodality. The road mode still has lower logistics costs and holds greater supply and availability in the market, in contrast, intermodality has the best performance in reducing emissions.

### **Key-words:**

Intermodal network; Transportation of Soybeans; CO<sub>2</sub> emissions.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perdas da produção de soja no transporte rodoviário .....	30
Figura 2 – Exemplo visual do mapa em Qgis com camadas multimodais e relevo: .....	34
Figura 3 – Esquema metodológico de pesquisa .....	36
Figura 4 – Área produtiva e rotas de exportação de soja em grãos, 2013 .....	39
Figura 5 – Mapa de calor de regiões por volume exportado e direções do fluxo de escoamento .....	40
Figura 6 – Exemplo de escolha de transporte direto origem-destino entre modal rodoviário ou ferroviário.....	45
Figura 7 - Gráfico de dispersão Unimodal: Custo Total(R\$/t) x Distância (km) das alternativas referentes aos indicadores de custo unimodal .....	48
Figura 8 - Gráfico de dispersão Intermodal: Custos logísticos + Custo de emissões (R\$/t) versus Distância (km).....	50
Figura 9 – Representação dos corredores logísticos das melhores rotas por eficiência ambiental – destino porto de Santos (SP) e Paranaguá (PR) .....	55
Figura 10 – Representação dos corredores logísticos das melhores rotas por eficiência ambiental – destino portos de Barcarena (PA) e São Luis (MA).....	56
Figura 11 – Representação dos corredores logísticos das melhores rotas por eficiência ambiental – destino porto Rio Grande .....	57
Figura 12 - Gráfico de dispersão dos Custos de CO <sub>2</sub> /t transportada x custos de Frete/t .....	58

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Análise Sistêmica de metodologias aplicadas na investigação de emissões de CO <sub>2</sub> e custos logísticos .....	20
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens dos modais de transporte utilizados no escoamento de grãos..	32
Quadro 3 – Terminais de transbordo brasileiros utilizados no transporte de soja.....	38
Quadro 4 - Rotas sugeridas com possibilidade de economia em comparação às rotas principais utilizadas no escoamento da soja .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Desempenho ecoeficiente dos modais de transporte.....	26
Tabela 2 - Características do modal rodoviário para rotas selecionadas no escoamento da soja no Brasil .....	37
Tabela 3 - Volume total exportado de soja em grãos em toneladas por porto (2013-Ago/2017) .....	39
Tabela 4 - Parâmetros para cálculo de custo de frete ferroviário .....	42
Tabela 5 - Relação entre distância origem-destino e custos de frete entre municípios aleatórios considerados para a análise de regressão .....	44
Tabela 6 – Resultado da regressão do custo de frete.....	44
Tabela 7 - Indicadores de custo e distância para transporte unimodal .....	46
Tabela 8 - Custos e distâncias de transporte intermodais.....	49
Tabela 9 - Rotas mais econômicas em relação ao custo por toneladas transportadas .....	51
Tabela 10 - Melhores de custos de emissões de CO <sub>2</sub> por toneladas transportadas .....	52
Tabela 11 - Percentuais de economia de CO <sub>2</sub> /tonelada (R\$) intermodal frente ao modal rodoviário...	53

## LISTA DE SIGLAS

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais

AMPL – *A Mathematical Programming Language*

ANAC – Agência Nacional Aviação Civil

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

CNT – Confederação Nacional do Transporte

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

IMEA – Instituto Matogrossense de Agropecuária

IPCC – *International Panel on Climate Change*

kgCO<sub>2</sub>/L – Quilos de dióxido de carbono por litros consumidos

FCM – Fluxo de Custo Mínimo

FM – Fluxo Máximo

GEE – Gases de Efeito Estufa

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

MDIC – Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

MTPA- Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil

N<sub>2</sub>O – Dióxido de nitrogênio

OECD – *Organisation for Economic Co-operation and Development*

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

PFMCM – Problema de Fluxo Multimercomodias de Custo Mínimo

PNLT – Plano Nacional de Logística e Transportes

SIFRECA – Sistema de Informação de Fretes

tC/TJ – Toneladas de carbono por terajoules

tCO<sub>2e</sub> – Toneladas de dióxido de carbono estimado

USDA - *United States Department of Agriculture*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
2.1. ABORDAGEM AMBIENTAL EM ESTUDOS DE REDES LOGÍSTICAS .....	18
2.2. CONSTRUÇÃO DE MODELOS DE EQUAÇÕES LINEARES PARA TRANSPORTE INTERMODAL .....	21
2.2.1. Rede de Fluxos .....	22
2.2.2. Construção de Modelos de Estimação de Emissões .....	24
2.3. EMISSÕES DE POLUENTES NO SETOR DE TRANSPORTE DE CARGAS E POLÍTICAS AMBIENTAIS .....	26
2.4. CADEIA DA SOJA DE EXPORTAÇÃO .....	28
2.4.1. Soja de exportação brasileira .....	28
2.4.2. Características da logística brasileira no transporte de grãos .....	30
<b>3. METODOLOGIA DE PESQUISA</b> .....	<b>33</b>
3.1. ABORDAGEM DE PESQUISA .....	33
3.2. DETALHAMENTO DA PESQUISA .....	33
3.3. OBJETO DE ESTUDO .....	36
3.4. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	40
3.5. CÁLCULO DE EMISSÕES .....	41
3.6. CÁLCULOS DOS CUSTOS DE FRETES E TRANSBORDOS .....	41
<b>4. ANÁLISES E DISCUSSÕES</b> .....	<b>44</b>
4.1. DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO .....	44
4.2. ANÁLISE DE INDICADORES DE CUSTOS LOGÍSTICOS E DE EMISSÕES CONSIDERANDO COMPOSIÇÕES UNIMODAIS E INTERMODAIS .....	45
4.3. COMPARAÇÃO DAS PRINCIPAIS ROTAS ATUAIS COM AS SOLUÇÕES ENCONTRADAS .....	58
4.3.1. Rotas de escoamento da Região Sul .....	59
4.3.2. Rotas de escoamento da Região Centro-oeste .....	61
4.3.3. Rotas de escoamento da Região Norte .....	62
4.3.4. Rotas de escoamento da região de MATOPIBA .....	64
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>67</b>
<b>APÊNDICE A - TOTAL EXPORTADO POR MUNICÍPIO (kg) – MÉDIA DE 6 ANOS</b> .....	<b>76</b>
<b>APÊNDICE B – MATRIZES ORIGEM/DESTINO ANALISADAS</b> .....	<b>78</b>



## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como 2º maior produtor mundial de soja, com uma produção de 95,6 milhões de toneladas, cerca de 33,7 milhões de hectares plantados na safra 2015/2016 e produtividade de 2.870 kg/hectare (CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, 2017). No mercado internacional, segundo a OECD/FAO - *Organisation for Economic Co-operation and Development* (2017), há uma previsão de que o país ultrapasse os EUA como principal produtor de soja. Quanto à participação no mercado mundial, o Brasil se destaca como maior exportador de grãos (OECD/FAO, 2017).

A soja é a principal *commodity* agrícola brasileira em volume de exportação (MDIC - Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2015). Entretanto, a infraestrutura logística do país é precária, inferindo diretamente no valor agregado do grão. Um dos problemas existentes no escoamento da soja de exportação brasileira é a ineficiência logística, cuja distribuição modal é imprópria, existe também uma ausência de incentivos para a intermodalidade por parte do governo (SCHALCH, 2016).

Uma das principais funções da atividade de transporte é agregar valor de lugar ao produto. Para Batalha (2011) um sistema de transporte eficiente contribui para gerar maior competição, economia de escala e redução de preços. Neste contexto é visível que quanto melhor a eficiência logística, melhor o desempenho econômico deste país.

De acordo com Assis (2015) a distribuição espacial da logística brasileira possui uma predominância do modal rodoviário, possuindo concentração na região Centro-Sul do país. Apesar da distribuição desigual pelo território, este modo de transporte possui densidade maior quando comparado às demais modalidades disponíveis no país. De acordo com o relatório da CNT - Confederação Nacional do Transporte (2015a), a matriz de transporte no escoamento da soja de exportação é predominantemente realizada pelo modal rodoviário.

Para Pinheiro (2012) a intermodalidade é capaz de reduzir os custos logísticos, uma vez que esta modalidade agrega as vantagens competitivas de cada combinação modal. Entretanto, o autor comenta a existência de problemas estruturais que contribuem para o alto custo do transporte no país, causando um peso no custo final do produto. Para Martins e Caixeta-Filho (2014), no escoamento do grão, a infraestrutura adequada é essencial para a formação do preço final do produto, devido a participação dos custos de transporte. Uma

redução do valor de frete resulta no aumento da receita líquida do produtor (IMEA - Instituto Matogrossense de Agropecuária, 2015).

Com a análise de relatórios econômicos da CONAB (2016) e de séries históricas extraídas do portal AliceWeb (2017) foi definido o estudo da rota de exportação de soja, por sua característica de poder ser transportada pelos modais rodoviário, ferroviário e fluvial e por sua participação na economia.

A cadeia de grãos possui uma localização geográfica e estação de colheitas bem definidas. De acordo com a CNT (2015a) as *commodities* agrícolas caracterizam-se pela comercialização em alto volume e grandes distâncias percorridas origem-destino, possuindo demandantes em transações de nível global, o que torna necessário um sistema logístico de grande capacidade e baixo custo unitário.

A conscientização das organizações em implantar conceitos sustentáveis em suas atividades despertou o interesse de pesquisadores a direcionar seus estudos às soluções de problemas logísticos abrangendo a filosofia sustentável ou de cunho ambiental.

O transporte sustentável de cargas é conceituado pelo projeto OECD (1997) como um processo que não propicia risco à saúde pública ou aos ecossistemas, atendendo à necessidade de mobilidade com recursos renováveis e não-renováveis de forma consciente. Já o relatório da ONU em Brundtland – Noruega, de 1987 define transporte sustentável como aquele que atenda às necessidades de mobilidade, sem comprometer a capacidade das gerações futuras (REISI *et al.*, 2016; ZITO & SALVO, 2011).

Diversos pesquisadores buscaram avaliar as emissões de poluentes juntamente com os custos logísticos. Nota-se uma variedade de métodos utilizados para este fim. Qu, Bektas & Bennell (2016), Sun & Lang (2016), Lam & Gu (2016), Rudi *et al.* (2016), Park *et al.* (2012), Bauer, Bektas & Cranic (2009) apresentaram em suas pesquisas modelos de programação linear para multimercadorias, obtendo como resultado a minimização de custos e emissões em transporte intermodal. Zhu, Erikstad & Nowark (2014), Tian *et al.* (2014), Craig, Blanco & Sheffi (2013), Cristea *et al.* (2013), Cadarso *et al.* (2010), Jemai, Zekri & Mellouli (2012) analisaram as emissões de CO<sub>2</sub> com base na atividade, consumo de combustível e quilometragem percorrida, os autores obtiveram estimativa do total de emissões. Baykasoglu & Subulan (2016) e Pan, Ballot & Fontane (2013) apresentaram uma formulação de Programação Linear Inteira Mista (MILP), obtendo como resultado a redução de custos de



transporte e emissões simultaneamente. Kirschstein & Meisel (2015) utilizaram o problema do caixeiro viajante para realizar uma avaliação mesoscópica de emissões de CO<sub>2</sub> unimodal e intermodal.

Ao analisar a literatura, o método mais encontrado na redução de poluentes atmosféricos fundamenta-se na programação linear e estudo de variáveis determinantes de emissões. Nota-se uma diversidade de fórmulas, com diferentes níveis de complexidade. Verifica-se na análise bibliográfica a existência de uma lacuna no campo de conhecimento estudado relativa a ausência de trabalhos utilizando créditos de carbono e custos de frete da soja destinada à exportação no Brasil. Pôde-se então formular uma primeira questão de pesquisa para esta dissertação:

“Como analisar o transporte da soja produzida no Brasil e destinada à exportação, com base na construção de redes intermodais, com foco na redução de custos logísticos de transportes e das emissões de CO<sub>2</sub>? ”

A partir da discussão anterior, as questões específicas de pesquisa levantadas no trabalho foram:

- “Quais são as principais rotas utilizadas atualmente no transporte da soja de exportação?”
- “Quais as melhores opções de rotas unimodais e/ou intermodais no transporte da soja destinada à exportação, de modo a atender as demandas pela *commodity*? ”

Nesta dissertação tem-se a finalidade de realizar uma análise do transporte de soja para exportação e sua intermodalidade no Brasil com abordagem na redução de custos de transporte e de emissões de CO<sub>2</sub>. Por tanto, o objetivo central foi determinar as rotas com os menores custos logísticos e das emissões de CO<sub>2</sub> para uma rede de transporte intermodal da soja destinada à exportação. Foram investigados e localizados os principais pontos de ligação intermodais no país, de acordo com a participação das rotas identificadas, fornecendo como resultado final, novas rotas com potencial em redução de custos.

Portanto, os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Identificar os principais terminais intermodais utilizados no escoamento da soja de exportação;

- Levantar as principais rotas de escoamento do grão;
- Apresentar rotas com menores custos logísticos e de emissões de cada região analisada no estudo.

Para o alcance dos objetivos foi criada uma fórmula de estimação de emissões de CO<sub>2</sub> empírica, tomando como base a junção de fórmulas do MCTI (2010) e relatórios IPCC da ANTT (2014a; 2014b), além de fórmulas apresentadas por Mckinnon & Piecyk (2010). O método consiste na estimação de emissões por fator de consumo de combustível diesel, considerando a tonelage transportada útil por quilômetro. Nesta pesquisa, os dados de custo considerados foram os valores de frete por toneladas.

Esta dissertação está estruturada na seguinte ordem: Introdução, com a apresentação da problemática, questões de pesquisa e objetivos; Referencial teórico, apresenta um estudo da literatura referente ao tema, conceitos e metodologias para estimação de CO<sub>2</sub>, além de caracterização da cadeia da soja de exportação, políticas ambientais e transporte de grãos. Metodologia, neste item são apresentados a abordagem e métodos de pesquisa. Análise de resultados, e Considerações finais.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Em se tratando de gestão ambiental ligada à logística, diversos estudos foram realizados apresentando análises sobre a relação entre as emissões atmosféricas geradas pelo uso de meios de transporte. Este capítulo aborda modelos equacionais propostos por autores com objetivos de estimar e reduzir emissões de CO<sub>2</sub>. A cadeia de soja de exportação e suas características são apresentadas.

### 2.1. ABORDAGEM AMBIENTAL EM ESTUDOS DE REDES LOGÍSTICAS

Dentre os estudos encontrados na literatura, destacam-se a redução de emissões de poluentes na área da logística, utilizando métodos de pesquisa operacional na construção de redes logísticas com foco na redução de CO<sub>2</sub>. Uma avaliação econômica relacionada aos impactos em emissões de CO<sub>2</sub> pelo transporte intermodal foi realizada por Nocera & Cavallaro (2016). Semelhantemente, Eng-Larsson *et al.* (2012) realizou comparação entre o crescimento econômico e o aumento das emissões pelo transporte de cargas. Já a metodologia IPCC para estimação de emissões foi utilizada pelos autores Cristea *et al.* (2013); Zhu; Erikstad & Nowark (2014); Cadarso *et al.* (2010); Jemai Zekri & Mellouli (2012); Craig; Blanco & Sheffi (2013).

Entre as pesquisas correlatas a esta dissertação, uma abordagem sobre redução de emissões foi proposta por Robertson (2016). O autor avaliou estrategicamente a redução de emissões de CO<sub>2</sub> em operações via substituição do modo ferroviário de alta velocidade para o transporte aéreo de curta distância na Austrália com perspectiva do ciclo de vida. O autor concluiu que ao transferir o transporte de cargas do modal ferroviário para o modal aéreo de curta distância obtém-se redução nas emissões.

Qu, Bektas & Bennell (2016), com o objetivo de minimizar os custos operacionais logísticos e suas emissões atmosféricas no transporte de *commodities* no Reino Unido, levantaram rotas alternativas de transporte multimodais. A metodologia proposta pelos autores contemplou a abordagem proposta por McKinnon & Piecyk (2010), considerando emissões de CO<sub>2</sub> baseadas em atividades estimadas conforme a distância percorrida e o volume (em toneladas) transportadas. Os autores levantaram rotas formando redes multimodais, distribuindo a quantidade a ser transportada por cada modal. No estudo foi gerado um modelo hipotético, contendo importantes nós intermodais localizados nos

principais portos do país. As combinações intermodais foram geradas por meio de um *software* de pesquisa operacional.

Sun & Lang (2015) alinharam suas pesquisas no roteamento de fluxos multimodais com o foco na redução de emissões. Os autores consideraram o fluxo de *commodities*, serviços de transporte multimodal ferroviários baseados em horários e serviços rodoviários flexíveis em tempo, emissões de dióxido de carbono e custos generalizados, orientados para a demanda dos consumidores. Os resultados obtidos pelos autores pela programação linear mostraram-se eficientes para aplicação em problemas de fluxos multimercadarias e multimodais. Os autores, assim como Qu, Bektas & Bennell (2016), adotaram a abordagem de emissões baseadas em atividades e programação não-linear inteira linearizada.

Baykasoglu & Subulan (2016) apresentam abordagem sustentável em redes intermodais no transporte de importações e exportações, modelando um planejamento tático de atividades. O modelo proposto pelos autores é capaz de avaliar simultaneamente, questões críticas de seleção de transporte, terceirização de serviço, alocação de cargas, consolidação em portos e estações ferroviárias de transbordo, e frequência de utilização de serviços de comboio em navios. A pesquisa dos autores visou minimizar os custos globais de transporte, tempo em trânsito e os totais de CO<sub>2</sub> emitido pelos diferentes modais de transporte. A metodologia empregada foi a otimização de multiobjectivos com o uso da lógica *fuzzy*. Os autores concluem que o modelo avaliado por especialistas pode atender efetivamente gerando vantagem competitiva sustentável e melhorando seus mecanismos de planejamento de cargas.

Lam & Gu (2016) relatam a consideração comum entre minimização de custo e tempo em trânsito para o planejamento de transporte em problemas da vida real. Os autores desenvolveram um modelo de otimização multi-objetivo para o planejamento tático de uma rede intermodal de transporte de containers na China, visando a minimização de custos e tempo em trânsito, considerando as emissões de carbono como restrições. Os autores analisaram 3 cenários, em que foram considerados redução de custos logísticos, minimização de tempo de transito e equilíbrio entre fator ambiental e econômico. Os mesmos concluíram que o modo de transporte rodoviário possui desempenho de velocidade de entrega maior que os demais modais, porém possui elevada taxa de emissão de CO<sub>2</sub> e altos custos logísticos. Em se tratando de longas distâncias, os modais aéreo e ferroviário demonstraram-se mais viáveis.

O Quadro 1 contém análise sistêmica de metodologias aplicadas na investigação de emissões de CO<sub>2</sub> e redução de custos logísticos em redes intermodais de transporte:

Quadro 1 – Análise Sistêmica de metodologias aplicadas na investigação de emissões de CO<sub>2</sub> e custos logísticos

<b>Autores</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Resultados</b>
Qu; Bektas & Bennell (2016); Sun & Lang (2016); Lam & Gu (2016); Rudi <i>et al.</i> (2016) Park <i>et al.</i> (2012); Bauer, Bektas & Cranic (2009)	Rede de Fluxo Multimercadorias; Otimização multi-objetiva.	Comparação entre custos e emissões de CO <sub>2</sub> em transporte uni-modal e multimodais
Baykasoglu & Subulan (2016) Pan; Ballot & Fontane (2013)	Programação linear inteira mista (MILP), multi-objetiva.	Otimização de emissões de CO <sub>2</sub> e custos logísticos em transporte multimodal
Nocera & Cavallaro (2016)	Avaliação econômica com meta-regressão;	Avaliação dos impactos de emissões de CO <sub>2</sub> na economia com transporte intermodal
Kirschstein & Meisel (2015)	Problema do caixeiro viajante	Avaliação mesoscópica de emissões de CO <sub>2</sub> unimodal e intermodal
Tian <i>et al.</i> (2014)	IPCC e regressão linear	Volume de emissões para os modais de transporte em municípios selecionados na China
Cristea <i>et al.</i> (2013); Zhu, Erikstad & Nowark (2014); Cadarso <i>et al.</i> (2010); Jemai, Zekri & Mellouli (2012); Craig, Blanco, Sheffi (2013)	IPCC <i>bottom-up</i> e <i>top-down</i>	Análise de emissões de poluentes para diferentes modais de transportes utilizados no mercado internacional
Chen, Yang & Notteboom (2014)	Modelo de rota linear; Algoritmo híbrido genético e Frank–Wolfe	Redução de emissões e congestionamento de rotas intercostais
Eng-Larsson <i>et al.</i> (2012)	Otimização por decomposição e programação linear	Comparação entre o crescimento econômico e o aumento das emissões pelo transporte de cargas

Fonte: Elaborado pela Autora (2017)

Autores como Tian *et al.* (2014); Cristea *et al.* (2013); Zhu, Erikstad & Nowark (2014); Cadarso *et al.* (2010); Jemai, Zekri & Mellouli (2012); Craig, Blanco, Sheffi (2013), utilizaram a metodologia proposta pelo *International Panel on Climate Change* – IPCC. O método IPCC surgiu com o objetivo de avaliar a literatura científica, técnica e socioeconômica, de forma a compreender as mudanças climáticas e seus impactos futuros, proporcionando adaptações e opções para mitigar seus riscos. Os relatórios elaborados conforme as exigências do órgão visam calibrar as incertezas para expressar um nível de confiança dos resultados (IPCC, 2013).

Os autores Bektas & Cranic (2008) consideram que o baixo custo, a alta frequência e flexibilidade do modal de transporte rodoviário resulta em maior participação no mercado de transporte de cargas. Como consequência dessa participação de mercado é o congestionamento de vias e filas de caminhões, contribuindo na geração de resíduos e poluentes. Uma alternativa para o escoamento de cargas de forma economicamente e ambientalmente viável é a criação de rotas por meio da função de minimização de custos e emissões atmosféricas.

Para estimar os efeitos das emissões de GEE em transporte unimodal ou intermodal, Kirschstein & Meisel (2015) relatam a importância do uso de modelos viáveis para a estimação de consumo de combustível ou energia relacionados ao transporte. Autores como Mckinnon & Piecyk (2010), propõem na ausência de base de dados de consumo de energia ou combustível, uma fórmula baseada na quantidade transportada, distância percorrida e fator de emissões por quilômetros/toneladas.

Em dissertações e teses nacionais podem ser encontrados assuntos semelhantes. Messer (2015) aborda o tema das emissões de gases de efeito estufa do setor de transporte de cargas no Brasil, o autor apresenta metodologias para cálculo do consumo energético e emissões anual para diferentes cenários de TKU<sup>1</sup> por modal. Os fatores de emissão utilizados na pesquisa foram retirados do IPCC. O objetivo central foi avaliar o impacto do Plano Nacional de Logística e Transporte na geração de emissões do setor. Como resultado o autor apresenta 3 cenários com intervenções do PAC, projetos indicados no PNLT, e manutenções de participação por modal no ano base.

Nesta mesma linha, Pinheiro (2012) apresentou em sua tese a avaliação da redução de emissões de CO<sub>2</sub> no transporte intermodal do setor sucroenergético no Brasil. O autor utilizou programação linear e otimização para minimização de emissões e custo de transporte. Foram criados cenários para o transporte de açúcar e etanol, considerando a safra, malha de transporte atual. Em um dos cenários o autor testou o comportamento com e sem restrições de capacidade. A Projeção para o transporte de cargas futuro também foi testado.

## 2.2.CONSTRUÇÃO DE MODELOS DE EQUAÇÕES LINEARES PARA TRANSPORTE INTERMODAL

Problemas de transportes com transbordo caracterizam-se como problemas multiestágio (GOLDBARG; LUNA & GOLDBARG, 2015). Problemas de caminhos mais curtos são diretamente ligados à problemas combinatórios, podendo ser utilizados em problemas de roteamento, fluxo de redes, e manufatura. A seguir são listados e exemplificados a aplicação de algoritmos e métodos para resolução de problemas lineares em redes.

---

<sup>1</sup> TKU – Unidade de medida produto de transporte. Razão Toneladas por quilometro útil ( $TKU = t \times km$ ).

### 2.2.1. Rede de Fluxos

Problemas de fluxo consistem no processo de otimização da distribuição de um valor conhecido, entre pontos de oferta e demanda, seguindo restrições de capacidade e podendo possuir custos variados (GOLDBARG, LUNA & GOLDBARG, 2015). Uma rede  $R = (V, E, F)$  pode ser definida como um grafo direcionado  $G = (V, E)$  cujo fluxo  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$  circula em  $n$  arcos.

Na teoria dos grafos, Cormen *et al.* (2012) descreve a rede de fluxos  $G = (V, E)$ , como um grafo dirigido, em que cada aresta  $(u, v) \in E$  possui capacidade não negativa  $c(u, v) \geq 0$ . Neste modelo, não há ocorrências de fluxo em direção contrária. Em cada rede de fluxo há uma fonte  $s$  e sorvedouro  $t$ . Para todo vértice  $v \in V$ , a rede de fluxo contém um caminho  $s \rightarrow v \rightarrow t$ , de forma conexa, em que cada vértice, exceto  $s$  possui no mínimo uma aresta de entrada,  $|E| \geq |V| - 1$ .

O fluxo em  $G$  deve ser uma função de valor real  $f: V \times V \rightarrow \mathbb{R}$ , onde satisfaça as seguintes propriedades:

- Restrição de capacidade:  $\forall u, v \in V$   $0 \leq f(u, v) \leq c(u, v)$ .
- Conservação do Fluxo:  $\forall u \in V - \{s, t\}$   $\sum_{v \in V} f(v, u) = \sum_{v \in V} f(u, v)$

A restrição de capacidade determina que o fluxo de vértice não deve ser negativo e não deve exceder a capacidade fornecida. A propriedade de conservação diz respeito à igualdade de fluxo de entrada e saída, exceto a fonte ou sorvedouro. O valor de um fluxo  $|f|$  é dado pelo resultado da função (1), em que o valor total é resultante do valor que sai menos o valor do fluxo que entra na fonte. Deve ressaltar que a notação  $|\cdot|$  representa o valor de fluxo e não o valor absoluto.

$$|f| = \sum_{v \in V} f(s, v) - \sum_{v \in V} f(v, s) \quad (1)$$

Na construção de redes de fluxos com várias fontes e vários sorvedouros, o problema pode ser convertido para uma rede de fluxo comum de apenas uma fonte e um sorvedouro. Para isto deve-se inserir uma superfonte  $s$  com aresta dirigida  $(s, s_i)$  de capacidade  $c(s, s_i) = \infty$  para cada  $i = 1, 2, \dots, n$ , e um supersorvedouro  $t$  com aresta dirigida  $(t_i, t)$  de capacidade  $c(t_i, t) = \infty$  para cada  $i = 1, 2, \dots, n$ . Para Goldberg; Luna & Goldberg (2015), as redes de

fluxos podem assumir funções objetivos com propósito de maximizar o fluxo total, ou minimizar o custo de certo fluxo.

Em problemas onde são necessários maximizar o fluxo e reduzir custos decorrentes ao aumento do fluxo pode-se aplicar o Fluxo de Custo Mínimo (FCM). Para Cormen *et al.* (2012) um exemplo de aplicação deste problema pode ser dado por um fluxo que possui uma capacidade  $c(u, v) = 0$  se  $(u, v) \notin E$ , e que não possua arestas antiparalelas. No exemplo são enviadas  $f_{uv}$  unidades de fluxo pela aresta  $(u, v)$ , sob custos  $a(u, v)f_{uv}$ , com uma demanda de fluxo  $d$ . As unidades  $d$  são enviadas de  $s$  para  $t$  objetivando minimizar o custo total  $\sum_{(u,v) \in E} a(u, v)f_{vu}$  incorrido pelo fluxo.

Em problemas de fluxo de custo mínimo, o programa linear se assemelha ao problema do fluxo máximo, diferenciando-se apenas por uma restrição adicional em que o valor do fluxo é determinado em  $d$  unidades exatas, com uma função objetivo de minimizar custo (CORMEN *et al.* 2012).

Um caso particular de problemas FCM é o problema de transporte quando se têm nós intermediários é definido como problema de transbordo. Para Goldberg, Luna & Goldberg (2015) e Bazaraa, Jarvis & Sherali (2010), FCM podem ser solucionados pelo método Simplex especializado. O Problema de transporte é um caso clássico da pesquisa operacional.

Um caso especial de problemas de transporte são os Problemas de Fluxo Multimercadoria de Custo Mínimo (PFMCM). Esta classe de problema pode ser modelada com restrições de conservação do fluxo e restrições de capacidade que unem as commodities em conjunto (MORADI; RAITH & EHRGOTT, 2015).

Winebreak *et al.* (2008) comentam sobre o uso do algoritmo de Dijkstra na construção de redes intermodais com objetivo de atingir menores custos de transporte. De acordo com Morabito *et al.* (2015), este algoritmo encontra o menor caminho entre quaisquer dois nós da rede. O algoritmo de Dijkstra mantém um conjunto de  $S$  vértices, com pesos finais de caminhos já determinados. É utilizado para resolver problemas de fonte única em grafos dirigidos e ponderados. O tempo de execução deste algoritmo é inferior ao do algoritmo de Bellman-Ford (CORMEN, *et al.* 2012).



### 2.2.2. Construção de Modelos de Estimação de Emissões

Para tornar possível a programação linear em redes de transporte com foco na redução de emissões, é necessário estimar os efeitos das emissões de poluentes. Os modelos para estimar emissões de poluentes em problemas de fluxo de redes levam em conta fatores como o consumo de combustível, capacidade de transporte, toneladas transportadas entre outros. Autores como Kirschstein & Meisel (2015) relatam o uso de modelos viáveis para a estimação de consumo de combustível ou energia relacionados ao transporte. A abordagem proposta por Mckinnon & Piecyk (2010) é citada pelos autores Qu; Bektas & Bennell (2016); Sun Lang (2015); Jemai; Zekri & Mellouli (2012) em que na ausência de uma base de dados de consumo de energia ou combustível as emissões podem ser estimadas baseando em atividades, conforme a Equação 2:

$$CO2 = \text{toneladas transportadas} \times \text{distância média percorrida} \times \text{fator de emissões de CO2 por t/km} \quad (2)$$

Uma variação desta equação é proposta por To (2015), Equação 3. Nela a determinação de emissões de gases poluentes é definida por uma equação determinante para cada modo de transporte em determinado período. O autor considera a poluição nos percursos de ida e volta dos veículos.

$$GEE = \sum_{d_i=1}^k \left[ \left( W_{HK \rightarrow d_i m_j} + W_{d_i \rightarrow HK, m_j} \right) \times DIST_{HK \rightarrow d_i m_j} \times EF_{m_j} \right] \quad (3)$$

$W_{HK \rightarrow d_i m_j}$  é a quantidade transportada em toneladas da cidade origem para o destino  $d_i$  pelo modo de transporte  $m_j$ , o valor de  $W_{d_i \rightarrow HK, m_j}$  é a quantidade transportada em toneladas do destino para a cidade de origem, pelo modo de transporte  $m_j$ . A variável  $DIST_{HK \rightarrow d_i m_j}$  equivale à distância entre a cidade origem, pelo modo de transporte  $m_j$  e  $EF$  determina o fator de emissões para cada modo.

Outra forma de se estimar emissões de CO<sub>2</sub>, citado por Jemai, Zekri & Mellouli (2012) é representado pelo método baseado na distância percorrida, Equação 4; e consumo de combustível, Equação 5. O método baseado no consumo de combustível é o mesmo para diferentes modais de transporte:

$$CO2 = \text{distância média percorrida} \times \text{fator de emissões de CO2} \quad (4);$$

$$CO_2 = \text{combustível usado} \times \text{valor de aquecimento} \\ \times \text{fator de emissões de } CO_2 \quad (5)$$

Alguns métodos de estimação necessitam do consumo de combustível, isto pode ser obtido por meio da quilometragem percorrida e tonelada transportada. Demir, Bektas & Laporte (2011) testaram uma série de modelos de estimacões propostos na literatura, entre eles modelos clássicos que consideram as características do veículo, tais como os componentes de aerodinâmica, massa, energia potencial, parâmetros de eficiência e consumo de combustível por segundo. O segundo modelo testado pelos autores é baseado no consumo de combustível com base na aceleração, desaceleração, consumo de combustível de cruzeiro e consumo em tempo ocioso. O terceiro modelo estuda o consumo de combustível por velocidade de corrida, onde é calculado o consumo durante o momento em que o veículo está funcionando e em repouso. Os autores concluem que o melhor modelo é aquele que utiliza a potência do motor, velocidade e taxa de consumo de combustível.

Dentre os modelos encontrados na literatura, o MCT (2010) propõe uma equação para estimação de CO<sub>2</sub>, que foi apresentada à metodologia IPCC, descrito na Equação 6. O modelo fornece uma estimativa em quilos de CO<sub>2</sub> por litros de combustível consumidos.

$$\frac{kgCO_2}{L} = \frac{ton C}{Tj} \times \frac{Tj}{tep} \times \frac{tep}{m^3} \times \%Oxidação \times \frac{44 ton CO_2}{12 ton C} \quad (6)$$

em que:

- $kgCO_2/L$  determina o fator de emissão calculado em kg por litros de combustível;
- $ton C/Tj$  é o fator de emissão em toneladas de carbono por Terajoule de combustível;
- $Tj/tep$  é o fator de conversão das unidades de energia de Tj. para toneladas equivalentes de petróleo;
- $tep/m^3$  é a densidade energética;
- $44 tonCO_2/12 ton C$  é a relação entre as massas molares do CO<sub>2</sub> e do carbono;
- A porcentagem de oxidação ( $\%Oxidação$ ) é a fração do carbono realmente oxidado na combustão.

Dekker, Bloemhof & Mallidis (2012) apresentaram a avaliação do desempenho dos modais ferroviário, aéreo, rodoviário e hidroviário quanto às questões ambientais na emissão de gases e o consumo durante o transporte. A Tabela 1 apresenta o fator de emissões e consumo de energia dos diferentes modais existentes no transporte de cargas.

Tabela 1 – Desempenho ecoeficiente dos modais de transporte

Uso de energia / emissões g / t / km	Embarcação de recipiente do tipo PS (11.000 TEU)	Embarcação de recipiente do tipo S (6.600 TEU)	Trilhos-elétrico	Trilhos-Diesel	Caminhão pesado	Boeing 747-400
kW h / t / km	0,014	0,018	0,043	0,067	0,18	2,00
CO <sub>2</sub>	7,48	8,36	18	17	50	552
SO <sub>x</sub>	0,19	0,21	0,44	0,35	0,31	5,69
NO <sub>x</sub>	0,12	0,162	0,10	0.00005	0.00006	0,17
Partículas de Poeira (MPcomb)	0,008	0,009	n / D	0,008	0,005	n / D

Fonte: adaptado de Dekker, Bloemhof & Mallidis (2012)

Na Tabela 1, verifica-se que o modal aéreo é o que mais consome energia e emite poluentes atmosféricos, seguido pelo modo rodoviário. O modal com melhor desempenho ecoeficiente é o hidroviário.

### 2.3. EMISSÕES DE POLUENTES NO SETOR DE TRANSPORTE DE CARGAS E POLÍTICAS AMBIENTAIS

Como toda organização, no Brasil as agências nacionais de transporte possuem normas e regimentos internos sobre a gestão ambiental, e também devem seguir regulamentações do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, e entidades afins. Conforme a regulamentação preconizada na Lei ambiental nº 10.233/01 (BRASIL, 2001):

“Os transportes aquaviários e terrestres possuem como princípio geral, a compatibilização dos transportes com a preservação do meio ambiente, reduzindo os níveis de poluição sonora e de contaminação atmosférica, do solo e de recursos hídricos. Das diretrizes apresentadas pela regulamentação, devem promover a prática adequada de conservação e uso de combustíveis.” (BRASIL, 2001 - Lei ambiental nº 10.233/01).

Uma das exigências do CONAMA, segundo a resolução nº 1 de 23 de janeiro de 1986 (BRASIL, 1986), é a elaboração do estudo de impactos ambientais e respectivo relatório para atividades modificadoras do meio ambiente. Nos transportes, essa resolução se aplica às estradas de rodagem com duas ou mais faixas de rolamento, ferrovias, portos e terminais de minério, petróleo e produtos químicos, aeroportos, oleodutos, gasodutos, minerodutos, tronco coletores e emissários de esgoto sanitários, dentre outros. O PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, foi criado com o objetivo de reduzir e controlar emissões atmosféricas e de ruídos por veículos automotores (BRASIL, 1986).

O programa ambiental do transporte Despoluir, foi criado em 2007, com o objetivo de promover agentes envolvidos a atividades de transporte em ações de conservação do meio

ambiente, colaborando com a forma sustentável de desenvolvimento (CNT, 2015b). Um dos projetos deste programa é a redução de emissões de poluentes por veículos por meio de estimativa de emissões de poluentes e controle de qualidade de combustíveis.

As agências brasileiras de transportes utilizam a metodologia internacional do IPCC - *International Panel on Climate Change* - para estimar a emissão de poluentes atmosféricos de veículos. O IPCC surgiu com o objetivo de avaliar a literatura científica, técnica e socioeconômica, de forma a compreender as mudanças climáticas e seus impactos futuros, proporcionando adaptações e opções para mitigar seus riscos. Os relatórios elaborados conforme as exigências do órgão visam calibrar as incertezas para expressar um nível de confiança dos resultados (IPCC, 2013).

O primeiro relatório público, produzido pela Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT - é referente ao ano de 2012, contemplando o transporte ferroviário e rodoviário (ANTT, 2014a; 2014B). Posteriormente, em 2014 foi publicado o relatório da Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC - de estimativa de poluentes de aeronaves. O país não possui relatórios de estimativa de poluentes dos modais de transportes hidroviário e marítimo.

Em abril de 2016 foi lançado no Brasil o primeiro selo de Pegada de Carbono - *Carbon Trust*, pela ABNT e MDIC em parceria com a *Carbon Trust*, empresa britânica sem fins lucrativos que trabalha com selos e certificados ambientais visando a redução da emissão de carbono em todo o ciclo de vida do produto (ABNT,2016). Conforme o boletim ABNT (2016), o projeto visa aferir o total de emissões de gases de efeito estufa em toda a cadeia produtiva, desde a produção, transporte, uso e destinação final de produtos. Outro projeto é citado pela Política Ambiental do MTPA - Ministério os Transportes, Portos e Aviação Civil (2015) servindo de orientação para a gestão ambiental do Ministério, o projeto OECD - *Organisation for Economic Co-operation and Development*. Os impactos ambientais dos transportes foram classificados pelo projeto OECD em categorias, conforme as emissões atmosféricas locais, regionais e globais e os impactos que não são decorrentes de emissões atmosféricas (MTPA, 2015). Outros órgãos brasileiros, como o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTI, realizam estudos sobre emissões de GEE nos setores da economia brasileira, fornecendo relatórios por atividade.

Dentre os relatórios elaborados pelo governo brasileiro, o relatório de emissões do MCTI (2016) apresenta a agropecuária e agroindústria como atividades econômicas

importantes ao Brasil, sendo destaque em produção mundial. O relatório apresenta as emissões de poluentes deste setor, como decorrentes da fermentação entérica, manejo de dejetos animais, queima de resíduos agrícolas e emissões de N<sub>2</sub>O provenientes do uso de solos agrícolas. Além disto, o cultivo da soja é o principal contribuinte em emissões deste setor. Ainda de acordo com MCTI (2016), no Brasil, uma parcela significativa de emissões líquidas de CO<sub>2</sub> são provenientes do uso de solos para o setor agroindustrial. O relatório informa que o uso da terra, representado pela agricultura e agropecuária, são responsáveis por 42% do total de emissões. O consumo de combustível no setor de transporte foi responsável por 22,8% do total de emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil.

Conforme o relatório do *Climate Transparency* (2016), o Brasil ainda não possui sistema de precificação de carbono. O governo estuda possibilidades para o uso de um esquema de comércio de emissões para encontrar melhor custo efetivo para redução de emissões. Atualmente o país trabalha com leilões de créditos de carbono pela BM&F Bovespa.

## 2.4.CADEIA DA SOJA DE EXPORTAÇÃO

O Brasil se destaca na exportação de *commodities*, sendo os graneis sólidos os principais produtos movimentados nos portos marítimos e pelas rodovias brasileiras (MDIC, 2015). Os minérios, combustíveis minerais e grãos lideram o ranking de exportação. De acordo com o MDIC (2015) os principais destinos das exportações do país em 2015 foram (1) China; (2) Estados Unidos; (3) Argentina; (4) Países Baixos e (5) Alemanha. O mercado de *commodities* agrícolas é caracterizado principalmente por seu alto volume, grandes distâncias percorridas entre origens-destinos e por possuir demandantes em transações de nível global. Estas características tornam necessário um sistema logístico eficiente, possuindo grande capacidade e baixo custo unitário (CNT, 2015a).

### 2.4.1. Soja de exportação brasileira

No *ranking* de produção, o Estado do Mato Grosso lidera. O segundo maior produtor é o Paraná, seguido do Rio Grande do Sul e Goiás. A cultura da soja é a que mais cresceu nas últimas três décadas, sendo os avanços tecnológicos, a expansão da fronteira agrícola e o crescimento das indústrias de processamento de grãos e refino de óleos responsáveis por este crescimento (MTPA, 2017).

Dados da USDA - *United States Department of Agriculture* (2016) apresentam cenários positivos quanto à produção e exportação da soja brasileira. Um dos aspectos mais importantes está ligado aos custos de transportes e qualidade de armazenagem e distribuição de grãos. As projeções de exportações de soja brasileira projetaram um crescimento de 69 milhões de toneladas durante o período de projeção de 2015/16 a 2024/25. Dados da CONAB (2017b) apresentaram uma projeção para as exportações da safra de 2016/2017 equivalentes à 70% do total produzido.

O transporte da produção de soja destinada à exportação é feito dos armazéns para os portos. O deslocamento em sua maioria é caracterizado por longas distâncias e maior *transit time*<sup>2</sup> (CNT, 2015a). A logística de distribuição de grãos e derivados no Brasil, dada sua característica geográfica, permite utilizar os modais de transporte rodoviário, ferroviário e hidroviário. Conforme o relatório da CNT (2015a), o transporte de grãos é realizado em maior parte via modo rodoviário, visto que a matriz de transportes brasileira se concentra na área rodoviária.

A concentração de embarque do grão exportado nas plataformas exportadoras ocorre no período de colheita (março, abril e maio), chegando a representar cerca de 50% do total das exportações de soja realizadas por ano. Uma decorrência deste fato é a sobrecarga de soja escoada para os portos (CONAB, 2017). Como a demanda de transporte neste período é elevada, os valores de frete sofrem aumento significativo. De acordo com o IMEA (2015), o custo de frete rodoviário em época de safra chega a corresponder a mais de 30% do valor do grão.

A infraestrutura logística brasileira tem afetado diretamente na competitividade do grão, cujo valor agregado se perde no escoamento, elevando o custo do produto com a logística no transporte. Uma das razões que refletem na deficiência logística brasileira de transporte de grãos é que o setor se expande numa direção oposta à dos portos e centros consumidores (COSTABILE, 2017).

Para Costabile (2017) as perdas na movimentação entre a fazenda e os portos de destino são de até 0,25% do total transportado. As perdas podem ser vistas em acostamentos de rodovias, ocasionadas pela precariedade da malha, acarretando o aumento do custo de transporte. A Figura 2 é um exemplo da ocorrência deste fato.

---

<sup>2</sup> *Transit time*: tempo em trânsito. É o período compreendido entre a entrega das mercadorias ao transportador e a chegada destas para o local de destino (CNT, 2015a)

Figura 1 - Perdas da produção de soja no transporte rodoviário



Fonte: A Tribuna (2014)

#### 2.4.2. Características da logística brasileira no transporte de grãos

Para Almeida *et al.* (2016), apesar da intermodalidade possuir a capacidade de redução de custos logísticos, esta eficiência logística depende da existência de infraestrutura logística adequada e terminais de apoio. Esta subseção apresenta as características dos modais de transporte utilizados no transporte de grãos do país.

A característica de capacidade e custo fazem do modal rodoviário mais adequado ao transporte de pequenos ou médios volumes em distâncias curtas ou médias. Também possui flexibilidade para atuar do início ao fim da cadeia produtiva, e detém acesso a locais não alcançados por ferrovias e hidrovias (CNT, 2015a). Os caminhões utilizados no transporte de grãos são categorizados como grande porte, compostos por unidades tratoras e semirreboques, possuindo capacidade média de 27 toneladas. De acordo com Pinheiro (2012) o modal rodoviário oferece serviço porta-a-porta, possuindo vantagem sobre os demais modais, visto que estes exercem sobre serviço terminal-a-terminal.

No âmbito das exportações, que se caracterizam por rotas de longas distancias, este modal rodoviário possui desvantagens. A infraestrutura precária nas rodovias brasileiras ocasiona um alto consumo de combustível, desgaste da frota e maiores índices de acidentes, refletindo diretamente em altos custos logísticos. A prevalência do modal rodoviário como

meio unimodal, para o escoamento das exportações de soja representa uma ineficiência do transporte (SCHALCH, 2016).

Para Costabile (2017), a infraestrutura rodoviária brasileira se encontra em um cenário de deterioração. Existe a ocorrência de falta de sinalização, pavimentação incompatível com o peso de caminhões, falta de recuos para estacionamentos e segurança de tráfego em determinados trechos. De acordo com a CNT (2015a), a falta de incentivos à prática de intermodalidade e a reduzida oferta de infraestrutura adequada acarretam ao uso deste modal por maior parte da movimentação de cargas no país. Além da má qualidade das rodovias, os custos são agravados pelas condições dos pontos de transbordo para outras modalidades, que possuem capacidade de movimentação limitada e insuficiente para atender à demanda.

O DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre (2013) aponta situação das rodovias brasileiras, em seu relatório sobre as condições da malha rodoviária brasileira. Apenas 12% das rodovias nacionais são pavimentadas e outros 7,6 % é composto por malha rodoviária planejada, caracterizando como baixa qualidade.

Conforme a Pesquisa CNT de Rodovias (CNT, 2017), o país possui uma pequena densidade rodoviária pavimentada quando comparado a outros países de dimensão territorial semelhante. Além da malha pavimentada reduzida, as rodovias possuem infraestrutura mínima necessária para o transporte de cargas e passageiros. As rodovias públicas se encontram em estado geral classificado como Regular, Ruim ou Péssimo em 70% da extensão.

O modal ferroviário é indicado para o transporte de grandes volumes a longas distâncias. Suas vantagens vão desde a segurança no transporte, economia e capacidade de emissão de poluentes menor, quando comparado ao modal rodoviário (SCHALCH, 2016). Apesar das vantagens, este modal é pouco utilizado no Brasil. A oferta de transporte ferroviário é insuficiente para atender às demandas existentes. De acordo com a CNT (2015a), as principais malhas ferroviárias utilizadas no país para o transporte de soja são a Malha Sul e Malha Norte da América Latina Logística (ALLMS e ALLMN). Para o transporte de grãos sólidos agrícolas via modal ferroviário, o vagão mais utilizado é do tipo *hopper*, além de vagões fechados e gôndolas. Cada vagão possui capacidade média para transportar aproximadamente 72 toneladas de grãos.



Entre os entraves logísticos do modal ferroviário levantados pela CNT (2015a) estão: passagens em níveis críticos; gargalos físicos e operacionais; falta de expansão integrada; falta de investimento, e invasões de faixa de domínio. Estas invasões de faixa de domínio são consideradas mais graves, devido aumentar os índices de acidentes.

O transporte hidroviário possui vantagens como o baixo custo da tonelada transportada por unidade de distância e por possuir capacidade de transportar grandes volumes (CNT, 2015a). Este modal é indicado para o transporte de produtos homogêneos e de baixo valor agregado, tais como *commodities* agrícolas (IMEA, 2015). Uma das desvantagens deste modal é a baixa velocidade e frequência. Dentre os entraves logísticos deste modal no país, estão a falta de sinalização e balizamento, ausência de eclusas em trechos, desmembramento de comboios aumentando o custo logístico e o tempo de transporte (CNT, 2015a). O transporte por vias interiores é realizado por um conjunto de barcaças e empurradores, possuindo capacidade limitada, devido à falta de investimentos em infraestrutura.

Outros gargalos que contribuem na perda de competitividade da soja brasileira, destacados pelo IMEA (2015) são os elevados custos das tarifas portuárias, demandas superiores à capacidade instalada de armazéns, falta de ampliação de instalações portuárias, limitação de profundidade impedindo a atracação de navios de maior porte em alguns portos.

Portanto, as principais características dos modos de transporte utilizados no escoamento de grãos são apresentadas no Quadro 2:

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens dos modais de transporte utilizados no escoamento de grãos

<b>Modal</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Rodoviário	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transporte porta a porta sem necessidade de outro modo de transporte.</li> <li>• Maior flexibilidade</li> <li>• Tempo de entrega mais rápida e confiável para cargas parceladas</li> <li>• Baixo custo fixo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresenta menor capacidade de carga;</li> <li>• Alto custo variável (combustíveis, pedágios, taxas do veículo e taxas sobre t-km)</li> <li>• Muito poluente com forte impacto ambiental.</li> </ul>
Ferrovário	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidade de transportar cargas maiores por longas distâncias;</li> <li>• Relativos baixos custos variáveis;</li> <li>• Elevada eficiência energética;</li> <li>• Pouco poluente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos custos fixos;</li> <li>• Alto tempo nas operações de transição;</li> <li>• Baixa confiabilidade em termos de prazos de entrega e perda.</li> </ul>

Aquaviário	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta capacidade para transporte de cargas por longas distâncias;</li> <li>• Baixas taxas de frete;</li> <li>• Baixo consumo de combustível;</li> <li>• Baixos custos variáveis;</li> <li>• Pouco poluente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto tempo de viagem;</li> <li>• Flexibilidade limitada (restrições de vias navegáveis, dispositivos de carga e descarga);</li> <li>• Altos custos fixos</li> <li>• Influenciado pelas condições climáticas</li> </ul>
------------	---	---

Adaptado de Assis (2015).

### 3. METODOLOGIA DE PESQUISA

#### 3.1. ABORDAGEM DE PESQUISA

Esta pesquisa visa analisar custos de transporte e de emissões de CO<sub>2</sub> gerados pelos veículos utilizados para transportar a carga considerada (neste caso, a soja). Sendo assim, se enquadra em uma pesquisa exploratória de natureza quantitativa.

De acordo com Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa exploratória tem a finalidade de proporcionar familiaridade com o problema estudado, tendo em vista torna-lo mais explícito ou construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico e análise de exemplos que estimulem a compreensão.

#### 3.2. DETALHAMENTO DA PESQUISA

Para a construção do referencial foram consideradas 4 etapas. Na primeira etapa foi formulada a pergunta de pesquisa: “Como analisar o transporte da soja produzida no Brasil e destinada à exportação, com base na construção de redes intermodais, com foco na redução de custos logísticos de transportes e das emissões de CO<sub>2</sub>?”. A segunda e terceira etapas envolveram a localização de referências bibliográficas que tratassem do tema “construção de redes intermodais visando a redução de custos de emissões de CO<sub>2</sub>”. Foram localizados e selecionados artigos contendo o foco na minimização de emissões de poluentes em redes intermodais de transporte. Na quarta etapa, ocorreu a busca por relatórios e documentos que descrevessem o perfil de escoamento da soja de exportação brasileira. Por fim, o objeto de estudo analisado foi detalhado, apresentado suas características quanto à infraestrutura logística e transporte.

A metodologia de estimação de emissões de carbono adotada na pesquisa teve embasamento no método proposto por MCTI (2010); ANTT (2014a; 2014b); Mckinnon & Piecyk (2010), os quais compreenderam a metodologia IPCC, em que é possível obter estimação de gases poluentes conforme a atividade por fator de emissão. Os dados referentes

à produção foram extraídos da CONAB (2017b), os valores de exportação dos principais municípios exportadores foram extraídos do sistema AliceWEB (SECEX, 2017) e os volumes totais exportados por estado, foram consultados relatórios da ABIOVE (2017). O detalhamento do transporte e mapas da soja no Brasil foram extraídos de relatórios da USDA (2015) e CNT (2015a; 2015b). Conforme o Climate Transparency (2016), o Brasil ainda não possui um sistema de precificação de emissões de CO<sub>2</sub>. Portanto, para apresentar as emissões de CO<sub>2</sub> em valores monetários, foi considerado o valor médio da emissão de gás carbônico, apresentado pelo World Bank, Ecofys & Vivid Economics (2016). Segundo esta fonte, o custo de emissão de gás carbônico é de US\$ 38 por tonelada emitida de CO<sub>2</sub>.

A escolha de caminhos mais curtos e a identificação de distâncias entre origens e destinos por modais rodoviários foram obtidas com o auxílio do *Google Maps* (2017). As demais distâncias (referentes aos modais ferroviário e hidroviário) foram obtidas com base no banco de dados georreferenciados da PNLT (2010), com o *software* livre de informação geográfica *Quantum Gis - QGIS*®. Os dados contemplam as deformidades do relevo, fornecendo a quilometragem exata e não representando apenas a distância linear entre um terminal e outro. Um exemplo da interface do *software* é apresentado na Figura 2. O *software* também foi utilizado para a construção do Mapa com a rede de transporte com menor capacidade de poluição atmosférica.

Figura 2 – Exemplo visual do mapa em *Qgis* com camadas multimodais e relevo:



Fonte: Adaptado pela Autora (2017)

Na Figura 2, é possível identificar as camadas multimodais e de relevo aplicadas no *software*.

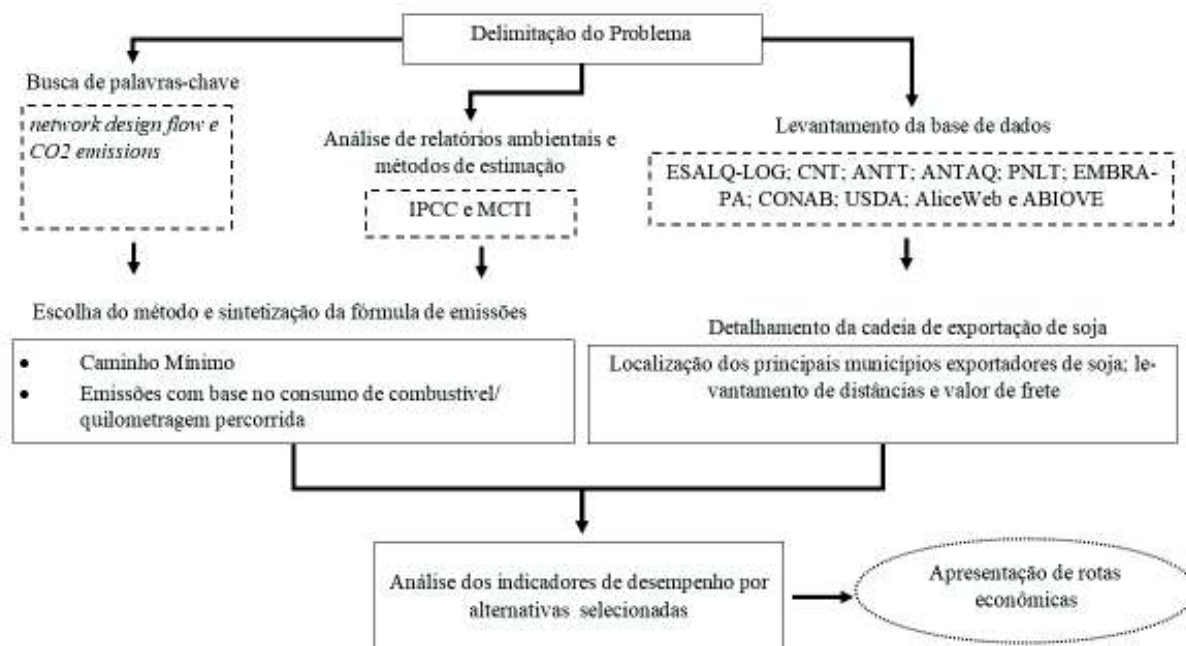
Após definir as melhores rotas, os dados foram tratados e sintetizados em uma matriz origem/destino, possibilitando o cálculo dos indicadores de emissões conforme a quilometragem percorrida.

Em relação ao cálculo do valor de frete para o modal ferroviário, foi elaborada uma calculadora de frete, seguindo as restrições e recomendações da metodologia de simulação de frete da ANTT (2013), de acordo com a resolução nº 4.194, de 19 de novembro de 2013. Este método determina o valor de frete com base na quilometragem percorrida e tipo de mercadoria sendo transportada. O cálculo consiste no produto de equações, em que são atribuídos pesos para cada grupo de distância, considerando os custos fixos (*Pfix*) e variáveis (*Pvar*). Esta calculadora de frete é apresentada na seção 3.6. deste capítulo. Os valores de frete para o transporte rodoviário foram retirados da base de dados do Sistema de Informação de Fretes /ESALQ - SIFRECA (2017). Os valores de frete hidroviário e os custos de transbordos dos demais modais de transportes foram extraídos de relatórios da ANTAQ (2013a; 2013b; 2013c; 2013d; 2013e).

Para as variáveis de demanda foram considerados os valores médios anuais, no período de 2011 a 2016, referentes ao volume de soja exportado (expresso em toneladas segundo demandas portuárias e ofertas dos municípios produtores). Os dados foram extraídos do portal AliceWeb (SECEX, 2017). Foram considerados os 10 principais municípios exportadores de cada Estado produtor. A capacidade e as características dos modais de transporte atuantes no Brasil foram retirados de relatórios da ANTT (2014a; 2014b).

As etapas da pesquisa são apresentadas no esquema metodológico apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Esquema metodológico de pesquisa



Fonte: Elaborado pela Autora (2017)

Portanto, para a construção desta pesquisa seguiu-se a ordem da Figura 3: Delimitação do problema; Busca por palavras-chave em periódicos; Análise de relatórios ambientais e métodos de estimação de emissões; e levantamento da base de dados. Após estas primeiras etapas, foi definida a escolha do método e o detalhamento do objeto de estudo, possibilitando a análise dos indicadores de desempenho de custos logísticos e de emissões, e a apresentação das rotas com melhores custos.

### 3.3. OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo aqui analisado são as rotas de escoamento da produção de soja destinada à exportação. Segundo USDA (2016), de acordo com o relatório de transporte de soja no Brasil, a região em que prevalece a produção de soja no país é a Centro-Oeste. Os estados que mais exportam são Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Paraná, Goiás e Mato Grosso do Sul. Os principais pontos de distribuição e rotas origem-destino para exportação são apresentados na Tabela 2. Os dados referentes às distâncias foram retirados do *Google Maps* (2017), os valores de frete foram extraídos do sistema SIFRECA (2017).

Tabela 2 – Características do modal rodoviário para rotas selecionadas no escoamento da soja no Brasil

Rota	Origem (cidade referência)	Sigla Origem	Destino (porto)	Sigla Destino	Distância (km) Rodovia	Frete R\$/t (Origem-destino direto)
A	RS (Tupanciretã)	TUP	Rio Grande – RS	PRG	474	115,00
B	RS (Cruz Alta)	CRA	Rio Grande -RS	PRG	486	88,50
C	PR (Londrina)	LON	Paranaguá – PR	PAR	488	122,25
D	PR (Mamborê)	MAM	Paranaguá – PR	PAR	589	106,47
E	PR (Assis Chateaubriand)	ASS	Paranaguá – PR	PAR	679	83,60
E	PR (Assis Chateaubriand)	ASS	Santos – SP	SNT	976	147,76
F	PR (Chopinzinho)	CHO	Paranaguá – PR	PAR	502	87,56
G	PR (Cornélio Procópio)	COR	Paranaguá – PR	PAR	567	80,00
H	PR (Castro)	CST	Paranaguá – PR	PAR	258	56,57
I	MG (Uberaba)	UBR	Santos – SP	SNT	911	100,60
J	SP (Guairá)	GIR	Santos – SP	SNT	556	125,00
K	GO (Rio Verde)	RVD	Santos – SP	SNT	1008	200,00
K	GO (Rio Verde)	RVD	Paranaguá – PR	PAR	1266	184,59
L	GO (Cristalina)	CRT	Santos – SP	SNT	984	148,77
M	MS (Chapadão do Sul)	CHS	Santos – SP	SNT	1006	151,52
N	MS (Maracajú)	MAR	Paranaguá – PR	PAR	1042	156,14
N	MS (Maracajú)	MAR	Santos – SP	SNT	1110	164,78
O	MS (São Gabriel do Oeste)	SGO	Santos – SP	SNT	1264	165,00
P	MT (Primavera do Leste)	PML	Santos – SP	SNT	1551	288,75
Q	MT (Primavera do Leste)	PML	Paranaguá – PR	PAR	1720	215,50
Q	MT (Sorriso)	SRR	Santos – SP	SNT	2033	290,00
Q	MT (Sorriso)	SRR	Paranaguá – PR	PAR	2202	273,33
Q	MT (Sorriso)	SRR	Porto Velho-RO	PTV	1445	209,82
Q	MT (Sorriso)	SRR	Itaituba – PA	ITB	1081	210,75
Q	MT (Sorriso)	SRR	Santarém – PA	STR	1376	198,56
R	MT (Canarana)	CNR	Santos – SP	SNT	1687	252,00
R	MT (Canarana)	CNR	Paranaguá – PR	PAR	1874	250,00
S	MA (Balsas)	BLS	São Luís – MA	SLS	799	128,50
T	TO (Campos Lindos)	CMP	São Luís – MA	SLS	1355	195,89

Fonte: Adaptado de USDA (2016); SIFRECA (2017)

As principais rotas de escoamento da soja seguem destino aos portos das regiões sul e sudeste do país. A USDA (2017) considera os municípios citados na Tabela 2 como referências para cálculos de frete. Cada região exportadora compreende várias cidades. A expansão da fronteira agrícola da soja para a região nordeste tem dado destaque à região MATOPIBA que compreende os Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Os portos de destinos dessa região são São Luís (MA) e Barcarena (PA) (CNT, 2015a). Os terminais de transbordo da soja mais expressivos retirados do relatório de transporte da soja são apresentados no Quadro 3 (CNT, 2015a):

Quadro 3 – Terminais de transbordo brasileiros utilizados no transporte de soja

<b>Terminais de transbordo Rodo-ferroviário</b>				
Localização	Sigla	Rodovias	Malha ferroviária	Destino
Porto Franco – MA	PFC	BR226	EFC	São Luís - MA
Rondonópolis – MT	RND	BR163; BR364	ALLMN	Santos -SP
Alto Araguaia – MT	ATG	BR364	ALLMN	Santos – SP
São José do Rio Preto - SP	SJR	SP320	ALLMP	Santos – SP
São Joaquim da Barra - SP	SJB	BR050	FCA	Santos - SP
Maringá – PR	MAR	BR376	ALLMS	Paranaguá – PR
Apucarana – PR	APU			
Guarapuava -PR	GUA	BR376	ALLMS	Paranaguá – PR
Três Lagoas – MS	TGL	BR158; BR262	ALLMP	Santos – SP
Uberlândia – MG	UBR	BR050; BR262	FCA	Santos – SP
Cascavel - PR	CSC	BR277	ALLMS	Paranaguá – PR
Ponta Grossa - PR	PNG	BR277; BR376	ALLMS	Paranaguá – PR
Cruz Alta - RS	CRA	BR158	ALLMS	Porto Rio Grande - RS
Carazinho – RS	CAR	BR386	ALLMS	Porto Rio Grande - RS
Santa Maria - RS	STM	BR285	ALLMS	Porto Rio Grande - RS
<b>Terminais de transbordo Hidro-ferroviário</b>				
Localização		Hidrovia	Malha ferroviária	Destino
Pederneiras – SP	PED	Hidrovia do Tietê - Paraná	ALLMP	Santos – SP
<b>Terminais de transbordo rodo-hidroviário</b>				
Localização		Rodovia	Hidrovia	Destino
Itaituba - PA	ITB	BR163	Hidrovia do Tapajós	Barcarena - PA
Porto Velho – RO	PTV	BR364	Rio Madeira – Rio Amazonas	Itacoatiara – AM
São Simão – GO	SSM	BR364	Hidrovia do Tietê - Paraná	Pederneiras – SP/ Anhembi – SP
Anhembi – SP	ANH	SP304	Hidrovia do Tietê - Paraná	Santos – SP
Estrela – RS	EST	BR386	Hidrovia Taquari	Porto Rio Grande – RS
Porto Alegre – RS	POA	BR-116; BR-386; BR-116	Lagoa dos Patos	Porto Rio Grande – RS

Fonte: adaptado de CNT (2015a)

O Quadro 3 detalha a localização de terminais de transbordo, destacando sua natureza, pontos de ligação e destino final. A identificação dos terminais de transbordo e suas ligações foram extraídas do mapa multimodal de rotas de escoamento da soja de exportação brasileira (CNT, 2015a). Os terminais considerados no mapa são aqueles que representam maior expressividade no escoamento do grão. Os volumes de exportações de soja, por porto, entre 2013 a 2017 (até o mês de março), são apresentados na Tabela 3:

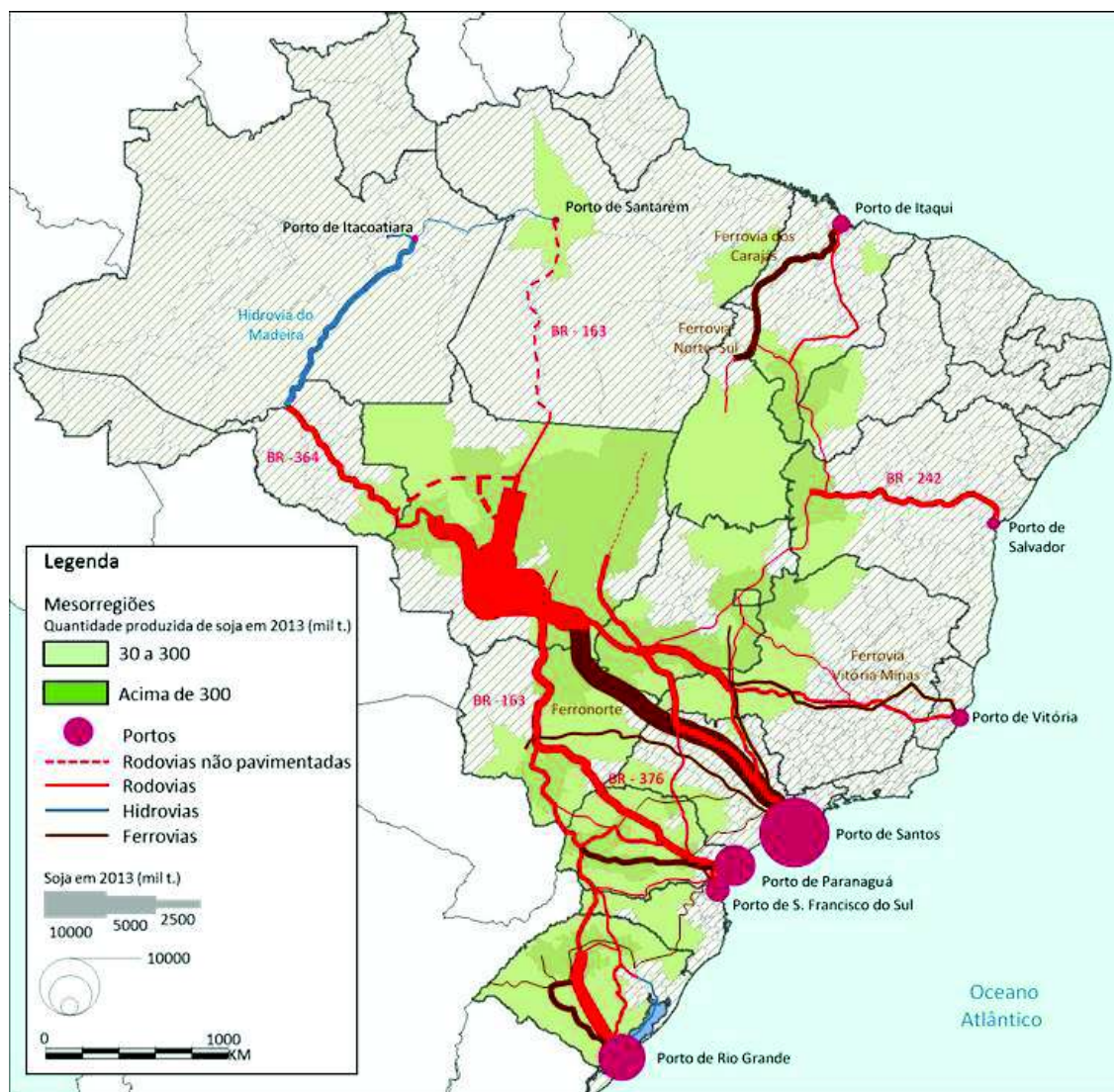
Tabela 3 – Volume total exportado de soja em grãos em toneladas por porto (2013-Ago/2017)

Porto	UF	2013(t)	2014(t)	2015(t)	2016(t)	Ago/2017(t)
Santos	SP	12.893.109	12.719.177	13.031.789	14.475.763	16.210.778
Rio Grande	RS	8.206.122	8.158.877	11.372.732	9.704.071	8.742.968
Paranaguá	PR	7.735.132	7.527.236	8.518.898	8.157.251	8.679.152
São Luís	MA	2.974.624	3.116.084	5.004.499	3.850.196	5.259.480
São Francisco do Sul	SC	4.032.264	4.910.909	4.614.864	3.961.713	4.059.096
Vitória	ES	2.823.224	3.148.465	3.771.931	2.944.967	2.903.930
Barcarena	PA	0	1.110.852	2.185.381	2.187.261	4.006.240
Manaus	AM	1.278.985	1.411.104	1.653.273	1.974.313	1.984.236
Total		42.796.104	45.692.000	54.324.238	51.581.875	56.897.042

Fonte: ABIOVE - Coordenadoria de Economia e Estatística (2017)

O transporte na sua maior parte do tempo ocorre via modal rodoviário. O mapa das principais rotas de exportação e áreas produtivas da soja é visto na Figura 4:

Figura 4 – Área produtiva e rotas de exportação de soja em grãos, 2013



Fonte: Frederico (2014)

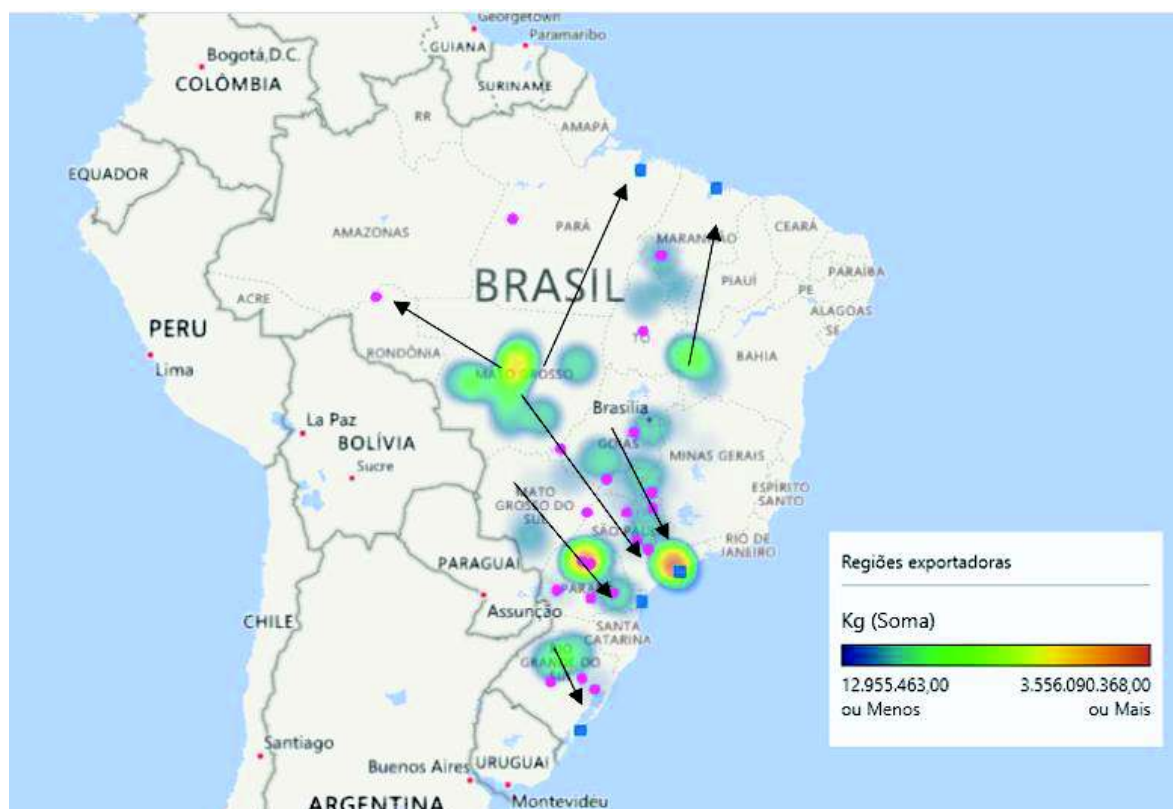


As principais rotas de exportação da soja, contidas na Figura 4 apresentam maior ocorrência de rotas rodoviárias, representadas pela cor vermelha. O fluxo de escoamento reflete a concentração de infraestrutura logística, direcionados às regiões sul e sudeste do país. De acordo com o relatório da CONAB (2015), a infraestrutura logística do país não acompanhou o avanço da produção para as regiões centro-oeste, norte e nordeste do país. A configuração logística atual do país não propicia a diversidade de alternativas de escoamento para estas regiões.

### 3.4. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa fundamentou-se na seleção dos principais municípios brasileiros exportadores de soja nos últimos 5 anos, compreendendo os anos de 2011 a 2016. No total, foram selecionados 80 municípios exportadores, pertencentes a 8 Estados. Estes municípios e seus valores de exportação se encontram no Anexo A (Total exportado por município) desta dissertação. Os valores médios exportados por estes municípios são atribuídos às principais rotas de exportação existentes. Na Figura 5 é atribuído mapa de calor da média de exportação destes municípios e a direção do fluxo de escoamento para os portos de destino.

Figura 5 – Mapa de calor de regiões por volume exportado e direções do fluxo de escoamento



Fonte: Elaborado pela Autora (2017)

A Figura 5 apresenta o fluxo de escoamento de exportação, os pontos de transbordo (ponto rosa) e portos de destino final (quadrado azul) considerados na pesquisa. Os pontos de maior destaque são Maringá (PR), Londrina (PR), e Guarujá (SP) podendo ser considerados pontos de distribuições em potencial.

### 3.5. CÁLCULO DE EMISSÕES

Na seção 2.2.2 foram detalhadas as abordagens encontradas na literatura para estimação de emissões de CO<sub>2</sub> por veículos utilizados no transporte de cargas. Foi escolhida a abordagem de emissões por consumo de diesel, devido à frota brasileira ser composta por veículos de carga movidos por esse combustível. Segundo a ANTT (2014a; 2014b), o fator de emissão de CO<sub>2</sub> para o combustível óleo diesel equivale a 20,2 tC/tJ ou 2,603 kgCO<sub>2</sub>/L de diesel consumidos. A conversão para kg CO<sub>2</sub>/km é feita conforme a Equação 7. Esta equação é resultado de uma adaptação de fórmulas extraídas dos relatórios da ANTT (2014a; 2014b) e MCTI (2010).

$$Volume\ de\ Emissão\ de\ CO_2 = \sum_{(i,j) \in A\ m \in M} \left( \frac{s^m}{1000} Q_{ij}^m \right) 2,603 \quad (7)$$

Em que:

- *Volume de emissão de CO<sub>2</sub>*: corresponde ao total de emissões de CO<sub>2</sub> de cada modal de transporte considerado;
- *s<sup>m</sup>* corresponde à quantidade transportada por modal em toneladas por quilômetros úteis – TKU;
- *Q<sub>ij</sub><sup>m</sup>*: é a variável determinante de consumo de diesel conforme o veículo utilizado;
- *i,j*: corresponde ao percurso em cada arco da rede de transporte;
- *m*: corresponde ao modal de transporte.

Nesta pesquisa foram considerados os seguintes valores médios de consumo de diesel (*Q<sub>ij</sub><sup>m</sup>*) por unidade de TKU (tonelada útil por quilômetro): rodovia 15 L/mil TKU, hidrovia 4 L/mil TKU e ferrovia 9,29 L/mil TKU (ANTT, 2014b; IPEA, 2014; DIAS, 2012).

### 3.6. CÁLCULOS DOS CUSTOS DE FRETES E TRANSBORDOS

A composição do custo de frete é formada pelo peso do frete, despesas administrativas e de terminais, valor do frete, taxa de gerenciamento de risco (GRIS), taxas adicionais, impostos e lucro desejado (DIAS, 2012). Nesta sessão são explicados os métodos utilizados para estimar os valores de fretes para cada modal.

O custo de frete ferroviário, conforme a resolução nº 4.194, de 19 de novembro de 2013 (ANTT, 2013), pode ser estimado pela aplicação das equações 8 a 11:

$$Tmax_{(Até\ 400km)} = Pfix + Dist \times Pvar \quad (8);$$

$$Tmax_{(401\ a\ 800km)} = Pfix + 400 \times Pvar1 + (Dist - 400) \times Pvar2 \quad (9);$$

$$Tmax_{(801\ a\ 1600)} = Pfix + 400 \times Pvar1 + 400 \times Pvar2 + (Dist - 800) \times Pvar3 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} Tmax_{(acima\ de\ 1600)} \\ = Pfix + 400 \times Pvar1 + 400 \times Pvar2 + 800 \times Pvar3 \\ + (Dist - 1600) \times Pvar4 \quad (11) \end{aligned}$$

Em que:

- $Tmax$  = tarifa máxima a ser cobrada pelo transporte de uma unidade de carga da estação de origem à estação de destino;
- $Pfix$  = parcela fixa (em R\$ por unidade de carga);
- $Pvar$  = parcela variável (em R\$ por unidade de carga);
- $Pvar1$  = parcela variável, em R\$ por unidade de carga para a faixa 1 (0 - 400Km);
- $Pvar2$  = parcela variável, em R\$ por unidade de carga para a faixa 2 (401- 800Km);
- $Pvar3$  = parcela variável, em R\$ por unidade de carga para a faixa 3 (801-1.600Km);
- $Pvar4$  = parcela variável, em R\$ por unidade de carga para a faixa 4 (acima de 1600 km);
- $Dist$  = distância (em quilômetros) da estação de origem à estação de destino.

Os valores para calcular os custos dos fretes ferroviários são apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 – Parâmetros para cálculo de custo de frete ferroviário

Parcela Fixa Unidade R\$/t Valor	Parcela Variável – Unidade R\$/t.km para grupos de distância			
	Pvar 1 0-400 km	Pvar 2 401-800km	Pvar 3 801-1600km	Pvar 4 Acima de 1600km
16,95	0,1058	0,09526	0,07387	0,05243

Fonte: BRASIL – ANTT (2013). Adaptado pelo Autor (2017)

Os valores de fretes rodoviários da soja foram obtidos no banco de dados da ESALQ-log, SIFRECA – Sistema de Informação de Fretes (2017). No entanto, nem todas as rotas analisadas se encontram disponíveis no banco de dados. Foi realizada a estimativa, com o uso da regressão linear. Os dados referentes às rotas cujos valores não foram encontrados, foram submetidos à análise de regressão, a fim de encontrar a função determinante para o valor de fretes. Foi considerada a amostra de 50 origens/destinos retirados da base de dados.

O custo de frete hidroviário é constituído pela junção de taxas portuárias. Conforme os relatórios da ANTAQ (2013a; 2013b; 2013c; 2013d; 2013e), o valor do custo de frete é de 0,042 R\$/t por quilômetro. Já o cálculo de transbordo é formado por taxas de utilização, sendo elas: carga/descarga, armazenagem, equipamentos e movimentação. O custo de transbordo é de R\$ 2,80/t, podendo ser rodo-hidroviário ou rodo-ferroviário.

Os cálculos realizados nesta pesquisa podem ser replicados em planilhas eletrônicas como o *Microsoft Excel*.

## 4. ANÁLISES E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentadas as análises e resultados obtidos pela modelagem proposta. As principais rotas utilizadas no escoamento da soja são descritas, seu desempenho quanto às emissões de CO<sub>2</sub> e custos logísticos são analisados.

### 4.1. DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO

Os valores referentes às origens destino não localizadas pelo sistema SIFRECA foram determinados por uma análise condicional histórica, sendo o método de Análise de Variância utilizado para verificar a aderência dos resultados de regressão com o real. O custo (R\$/t) foi inserido como a variável endógena ( $Y$ ), e a distância percorrida em quilômetro como variável exógena ( $X$ ). A série histórica considerada entre as origens e os destinos analisados, são apresentados na Tabela 6, o resultado da regressão é apresentado na Tabela 7:

Tabela 5 – Relação entre distância origem-destino e custos de frete entre municípios aleatórios considerados para a análise de regressão

Distância (km)	Custo (R\$/t)	Distância (km)	Custo (R\$/t)	Distância (km)	Custo (R\$/t)	Distância (km)	Custo (R\$/t)
558	85,00	480	80,00	412	60,00	254	55,00
486	88,50	495	70,00	317	61,00	348	61,50
474	115,00	799	128,50	552	90,00	554	90,00
589	106,47	1445	209,82	328	60,00	237	49,00
279	69,33	1874	250,00	621	90,00	677	105,00
488	122,25	1264	165,00	351	56,00	911	100,60
214	52,67	679	83,60	224	42,00	2033	290,00
354	76,85	1081	210,75	503	80,00	2202	273,33
556	125,00	1687	252,00	624	88,00	1008	200,00
544	90,00	984	165,00	603	90,00	1266	130,98
150	45,00	1551	288,75	651	93,00	553	83,00
542	110,00	1720	215,50	293	54,00		
242	57,00	901	195,00	607	90,00		

Fonte: Elaborado pela autora (2017), adaptado de SIFRECA (2016); *Google Maps* (2016)

$$y = 23,801 + 0,1274x \quad (12)$$

Tabela 6 – Resultado da regressão do custo de frete

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,941581245
R-Quadrado	0,886575242
R-quadrado ajustado	0,884212226
P-valor interseção	0,000171
Observações	50

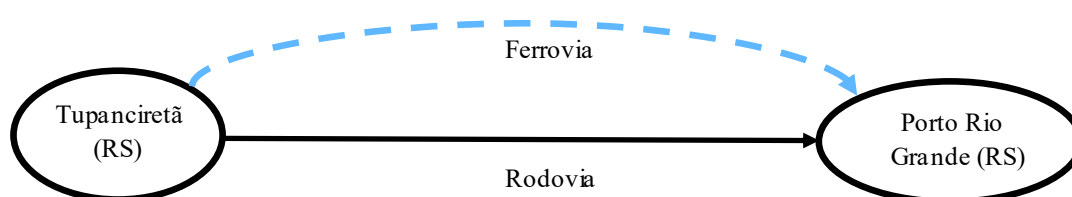
Elaborado pela autora (2017)

O resultado obtido compreende numa equação (12) para determinar o valor da projeção do custo do frete ao utilizar a variável endógena de distância (km). O R-múltiplo (0,94), R-quadrado (0,88) e o R-quadrado ajustado (0,88) são coeficientes de determinação da aderência linear da regressão com os valores reais inseridos na análise condicional, quanto mais próximo de 1, melhor é o resultado. Com o resultado da ANOVA, se verifica que o P-valor está próximo de zero (0,000171), mostrando que estatisticamente o resultado pode ser repetido sem o erro aleatório (23,39) se for utilizada as mesmas condições de contorno dessa análise condicional, quanto mais próximo de zero é o P-valor, melhor é o nível de significância das variáveis exógenas utilizadas num modelo.

#### 4.2. ANÁLISE DE INDICADORES DE CUSTOS LOGÍSTICOS E DE EMISSÕES CONSIDERANDO COMPOSIÇÕES UNIMODAIS E INTERMODAIS

Neste trabalho, foram avaliados os desempenhos de custos logísticos e de emissões intermodais e unimodais das rotas consideradas no estudo. Em alguns casos, nas alternativas de rotas diretas (origem-destino), podem ocorrer a possibilidade de escolha de transporte totalmente via ferroviário ou apenas rodoviário, conforme exemplificado na Figura 6. A visualização do desempenho destas rotas é apresentada na Tabela 8, nas colunas referentes ao custo total (R\$/t).

Figura 6 – Exemplo de escolha de transporte direto origem-destino entre modal rodoviário ou ferroviário



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

Os códigos apresentados na coluna intitulada Alternativa são referências às diversas opções de rotas entre a mesma origem e destino. A matriz com todas as alternativas possíveis de origem-destino unimodais e intermodais, e suas respectivas siglas são apresentadas no Apêndice B. Os valores de Rod e Fer presentes nas colunas representam os modos de transporte rodoviário e ferroviário, respectivamente.

Os valores de emissão de CO<sub>2</sub> em R\$/t (presentes nas Tabelas 8-12 desta seção) foram calculados com o uso de planilhas eletrônicas *Microsoft Excel 2017* usando a equação de emissões (7), apresentada na seção 3.5. adaptada conforme a Equação 13:

$$CO_2 \text{ em R\$/t} = \left( \frac{x_{ij}^m \times d_{ij}^m}{1000} \times Q_{ij}^m \right) 121,6 \times 2,603 \quad (13)$$

Os valores de  $CO_2 \text{ em R\$/t}$  representam um indicador por toneladas do total de emissões já convertidos em valores monetários, conforme a cotação média mundial fornecida pelo de World Bank, Ecofys & Vivid Economics (2016) de US\$ 38/tCO<sub>2</sub>. O valor em dólar é convertido para a unidade Real (R\$), conforme a cotação do dólar de R\$3,20, sendo assim correspondente à R\$121,60/t de CO<sub>2</sub>. Os valores de  $x_{ij}^m$  e  $d_{ij}^m$  correspondem respectivamente pela tonelada transportada e distância percorrida por modal ( $m$ ) entre as origens-destino ( $i,j$ ). O valor de  $Q_{ij}^m$  é o determinante de consumo de combustível diesel utilizado pelo tipo de modal.

A coluna intitulada Custo total (R\$/t) é resultado da somatória dos valores das colunas Custo (R\$/t) + CO<sub>2</sub> (R\$/t) de cada rota considerada.

Tabela 7 - Indicadores de custo e distância para transporte unimodal

Rota	Alternativa	Distância (km)			Custo (R\$/t)			Emissão de CO <sub>2</sub> (R\$/t)			Custo total Frete+CO <sub>2</sub> (R\$/t)
		Rod	Fer	Total	Rod	Fer	Total	Rod	Fer	Total	
TUP-PRG	A2	482	-	482	98,00	-	98,00	2,28	-	2,28	100,28
TUP-PRG	A3	-	820	820	-	99,27	99,27	-	2,40	2,40	101,67
CRA-PRG	B1	-	887	887	-	103,00	103,00	-	2,60	2,60	105,60
CRA-PRG	B4	488	-	488	96,72	-	96,72	2,31	-	2,31	99,03
LON-PAR	C4	489	-	489	120,00	-	120,00	2,31	-	2,31	122,31
LON-PAR	C5	-	609	609	-	79,19	79,19	-	1,78	1,78	80,97
MAM-PAR	D1	589	-	589	103,70	-	103,70	2,78	-	2,78	106,48
ASS-PAR	E4	678	-	678	112,00	-	112,00	3,20	-	3,20	115,20
CHO-PAR	F2	502	-	502	98,37	-	98,37	2,37	-	2,37	100,74
COR-SNT	G3	554	-	554	104,50	-	104,50	2,62	-	2,62	107,12
COR-PAR	G4	494	-	494	97,43	-	97,43	2,33	-	2,33	99,76
CST-PAR	H1	258	-	258	69,90	-	69,90	1,22	-	1,22	71,12
UBR-SNT	I1	-	1080	1080	-	118,50	118,5	-	3,16	3,16	121,66
UBR-SNT	I2	669	-	669	118,00	-	118,00	3,16	-	3,16	121,16
GIR-SNT	J2	545	-	545	103,44	-	103,44	2,57	-	2,57	106,01
RVD-SNT	K2	977	-	977	154,30	-	154,30	4,62	-	4,62	158,92
CRT-SNT	L2	966	-	966	153,03	-	153,03	4,56	-	4,56	157,59
CHS-SNT	M4	-	1044	1044	-	115,40	115,40	-	3,05	3,05	118,45
CHS-SNT	M5	975	-	975	154,14	-	154,14	4,61	-	4,61	158,75
MJC-SNT	N2	1096	-	1096	168,40	-	168,40	5,18	-	5,18	173,58
MJC-PAR	N3	-	1042	1042	-	171,40	171,40	-	3,05	3,05	174,45
SGO-SNT	O4	1206	-	1206	181,00	-	181,00	5,70	-	5,70	186,70
PML-SNT	P4	1520	-	1520	218,39	-	218,39	7,18	-	7,18	225,57
SRS -SNT	Q4	2017	-	2017	225,00	-	225,00	9,53	-	9,53	234,53
SRS-PAR	Q5	2196	-	2196	264,00	-	264,00	10,37	-	10,37	274,37
SRS-BAR	Q6	2000	-	2000	219,00	-	219,00	9,45	-	9,45	228,45
CNR-BAR	R1	1695	-	1695	239,00	-	239,00	8,01	-	8,01	247,01

CMP-SLS	T2	907	-	907	146,00	-	146,00	4,29	-	4,29	150,29
		<b>Distância (km)</b>			<b>Custo (R\$/t)</b>			<b>Emissão de CO<sub>2</sub> (R\$/t)</b>			<b>Continua Custo RS/t+CO<sub>2</sub> total(R\$/t)</b>
<b>Rota</b>	<b>Alternativa</b>	<b>Rod</b>	<b>Fer</b>	<b>Total</b>	<b>Rod</b>	<b>Fer</b>	<b>Total</b>	<b>Rod</b>	<b>Fer</b>	<b>Total</b>	
BLS-SLS	S2	799	-	799	129,50	-	129,50	3,77	-	3,77	133,27
CMP-SLS	T2	907	-	907	146,00	-	146,00	4,29	-	4,29	150,29

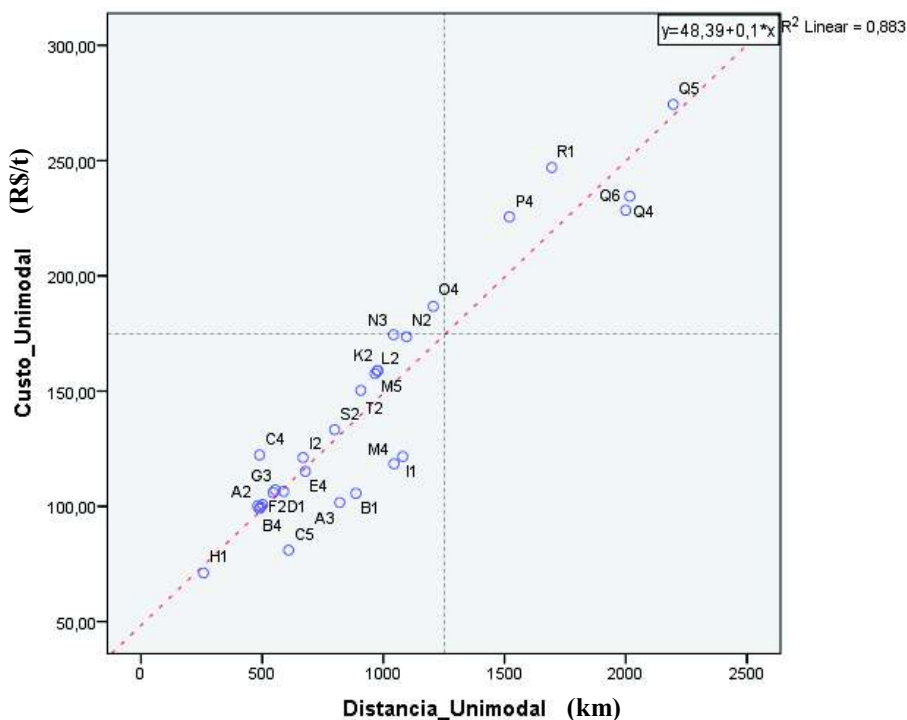
\*TUP – Tupanciretã (RS); PRG – Porto Rio Grande (RS); CRA – Cruz Alta (RS); Lon – Londrina (PR); PAR– Paranaguá (PR); MAM – Mamborê (PR); ASS – Assis Chateaubriand (PR); CHO – Chopinzinho (PR); COR – Cornélio Procópio (PR); CST – Castro (PR); UBR – Uberlândia (MG); SNT – Santos (SP); GIR – Guaíra (SP); RVD – Rio Verde (GO); CRT – Cristalina (GO); CHS – Chapadão do Sul (MS); MJC – Maracajú (MS); SGO – São Gabriel do Oeste (MS); PML – Primavera do Leste (MT); SRS – Sorriso (MT); ITB – Itaituba (PA); BAR – Barcarena (PA); CNR – Canarana (MT) BLS – Balsas (MA); PFC – Porto Franco (MA); SLS – São Luís (MA); CMP – Campos Lindos (TO). \*\* R – Rodovia \*\*\*F – Ferrovia

Elaborado pela autora (2017)

Na análise dos indicadores unimodais, o modo rodoviário apresentou melhor desempenho na maior parte dos casos analisados, quando comparado ao ferroviário no quesito custo por toneladas. Isto ocorre devido à malha ferroviária atual deter uma extensão quilométrica entre origem-destino maior que o percurso feito por rodovia na maioria dos casos. Uma consequência deste fato é o aumento do custo por TKU e emissões. O modo rodoviário é o mais indicado quando contraposto às pequenas distâncias entre origem-destino. As rotas que o modal ferroviário possuiu menores custos foram: C5 – Londrina (PR) ao porto de Paranaguá (PR), com custo total de R\$ 80,97/t transportada e M4 – Chapadão do Sul (MS) ao porto de Santos (SP) com custo total de R\$ 118,45/t transportada. A figura 7 apresenta a dispersão dos custos totais apresentados na Tabela 7, associando-os às distâncias percorridas por cada modal.



Figura 7 - Gráfico de dispersão Unimodal: Custo Total(R\$/t) x Distância (km) das alternativas referentes aos indicadores de custo unimodal



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

A Figura 7 contém o gráfico de dispersão das alternativas unimodais, em que apresenta um custo elevado conforme o aumento da distância percorrida. As alternativas de custos mais elevados, identificadas no gráfico, são as rotas rodoviárias Q5 – Sorriso (MT) ao Porto de Paranaguá (PR), R1 – Canarana ao Porto de Barcarena (MA), Q6 – Sorriso (MT) ao Porto de Barcarena (MA), Q4 - Sorriso (MT) ao Porto de Santos (SP) e P4 – Primavera do Leste (MT) ao Porto de Santos (SP). Os significados das siglas são vistos na Tabela 7. A seguir são detalhados os custos intermodais.

Na Tabela 9 são apresentadas as características das rotas intermodais possíveis levantadas no estudo. Os valores de custo total incluem os custos de transbordo, frete e emissões por toneladas transportadas. Os valores de custo de frete por toneladas transportadas foram determinados conforme a seguinte Equação 14:

$$\text{custo da rota} = \sum k \times c + t \quad (14)$$

em que o valor do custo da rota é resultante da somatória do produto de  $k$  pelo custo de frete  $c$  mais o valor de custo de transbordo ( $t$ ) para cada trecho percorrido, onde ocorresse a troca de modal. Neste estudo o valor de  $k$  é uma constante por se tratar de um indicador por toneladas, assumimos o valor de  $k = 1$ . Os valores de custo de frete ( $c$ ) e o custo de transbordo ( $t$ ) são detalhados nas seções 3.6. e 4.1.

Tabela 8 - Custos e distâncias de transporte intermodais

Rota	Alternativa	Modo	Distância Total (km)	Custo Frete (RS/t)	Custo de Emissões CO <sub>2</sub> (RS/t)	Custo total Frete+CO <sub>2</sub> (RS/t)
TUP-EST-PRG	A1	Rodovia/Hidrovia	703	97,20	2,03	99,23
TUP-STM-PRG	A4	Rodovia/Ferrovia	900	151,76	2,86	154,62
TUP-POA-PRG	A5	Rodovia/Hidrovia	667	103,00	2,35	105,35
TUP-CAR-EST-PRG	A6	Rodovia/Ferrovia/Hidrovia	695	121,04	1,74	122,78
CRA-STM-PRG	B2	Ferrovia/Rodovia	467	142,97	2,00	144,97
CRA-STM-PRG	B3	Rodovia/Ferrovia	906	150,11	4,04	154,15
CRA-POA-PRG	B5	Rodovia/Hidrovia	583	93,12	1,95	95,07
CRA-EST-PRG	B6	Rodovia/Hidrovia	619	86,59	1,63	88,22
LON-PNG-PAR	C1	Rodovia/Ferrovia	501	115,27	1,96	117,23
LON-PED-SNT	C2	Rodovia/Ferrovia	617	128,95	2,42	131,37
LON-GUA-PAR	C3	Rodovia/Ferrovia	583	124,47	2,28	126,75
MAM-CSC - PAR	D2	Rodovia/Ferrovia	751	137,97	2,46	140,43
MAM-GUA-PAR	D3	Rodovia/Ferrovia	503	115,05	1,90	116,95
MAM - MAR - PAR	D4	Rodovia/Ferrovia	751	137,75	2,45	140,20
MAM - PNG - PAR	D5	Rodovia/Ferrovia	650	132,84	2,67	135,51
MAM - MAR - PNG - PAR	D6	Rodovia/Ferrovia	741	144,40	2,80	147,20
ASS-CSC-PAR	E1	Rodovia/Ferrovia	690	130,96	2,17	133,13
ASS-GUA-PAR	E2	Rodovia/Ferrovia	590	125,04	2,31	127,35
ASS-PNG-PAR	E3	Rodovia/Ferrovia	724	142,47	3,02	145,49
CHO-GUA-PAR	F1	Rodovia/Ferrovia	413	104,37	1,48	105,85

Continua

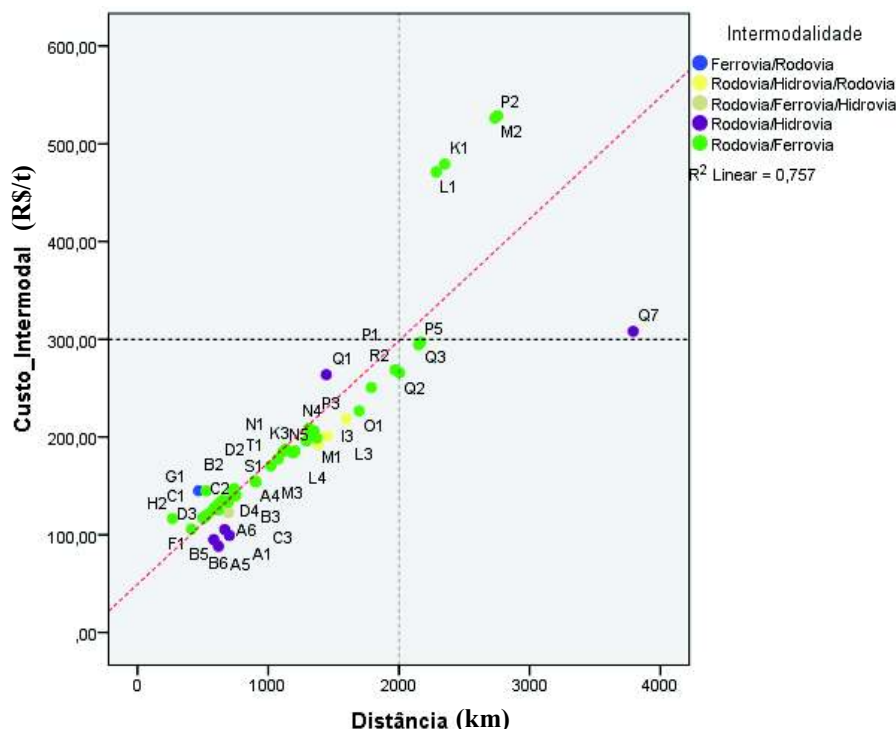
Rota	Alternativa	Modo	Distância Total (km)	Custo (RS/t)	Emissões CO <sub>2</sub> (RS/t)	Custo total Frete +CO <sub>2</sub> (RS/t)
CHO-PNG-PAR	F3	Rodovia/Ferrovia	535	118,86	2,12	120,98
COR-APU-PAR	G1	Rodovia/Ferrovia	525	143,06	1,75	144,81
COR-PED-SNT	G2	Rodovia/Ferrovia	523	117,25	1,97	119,22
COR-PNG-PAR	G5	Rodovia/Ferrovia	505	115,75	1,98	117,73
CST- PNG-PAR	H2	Rodovia/Ferrovia	267,6	115,75	0,86	116,61
UBR-SSM-ANH-SNT	I3	Rodovia/Hidrovia/Rodovia	1450	196,80	4,19	200,99
UBR-PED-SNT	I4	Rodovia/Ferrovia	739	142,70	2,99	145,69
GIR-SJR-SNT	J1	Rodovia/Ferrovia	696	132,35	2,27	134,62
GIR-SJB-SNT	J3	Rodovia/Ferrovia	618	123,51	1,93	125,44
RVD-ANP-SLS	K1	Rodovia/Ferrovia	2350	471,70	7,41	479,11
RVD-SRT-SNT	K3	Rodovia/Ferrovia	1205	181,61	4,03	185,64
CRT-ANP-SLS	L1	Rodovia/Ferrovia	2285	464,10	7,10	471,20
CRT-UBR-SNT	L3	Rodovia/Ferrovia	1371	194,34	4,53	198,87
CRT-SSM-ANH-SNT	L4	Rodovia/Hidrovia/Rodovia	1382	188,58	3,87	192,45
CHS-SSM-ANH-SNT	M1	Rodovia/Hidrovia/Rodovia	1189	182,35	4,07	186,42
CHS-ANP-SLS	M2	Rodovia/Ferrovia	2754	519,40	9,32	528,72
CHS-TLG-SNT	M3	Rodovia/Ferrovia	1189	179,55	4,07	183,62
MJC-CSC-PAR	N1	Rodovia/Ferrovia	1113	180,65	4,17	184,82
MJC-TLG-SNT	N4	Rodovia/Ferrovia	1351	201,40	4,84	206,24
MJC-MAR-PAR	N5	Rodovia/Ferrovia	1136	183,21	4,26	187,47
SGO-RND-SNT	O1	Rodovia/Ferrovia	1696	221,16	5,60	226,76
SGO-TLG-SNT	O2	Rodovia/Ferrovia	1316	197,30	4,67	201,97
SGO-ATG-SNT	O3	Rodovia/Ferrovia	1292	191,57	4,44	196,01
SGO-MAR-PAR	O5	Rodovia/Ferrovia	1311	203,76	5,09	208,85
PML-RND-PAR	P1	Rodovia/Ferrovia	1789	245,11	5,47	250,58
PML-ANP-SLS	P2	Rodovia/Ferrovia	2734	517,04	9,22	526,26
PML-SSM-ANH-SNT	P3	Rodovia/Hidrovia/Rodovia	1596	213,95	4,88	218,83
PML-UBR-SNT	P5	Rodovia/Ferrovia	2150	286,15	8,22	294,37

SRS-ITB-BAR	Q1	Rodovia/Hidrovia	1444	258,20	5,56	263,76
SRS-RND-SNT	Q2	Rodovia/Ferrovia	2005	258,73	7,06	265,79
SRS-RND-PAR	Q3	Rodovia/Ferrovia	2167	289,68	7,25	296,93
SRS-PTV-BAR	Q7	Rodovia/Hidrovia	3792	212,35	9,78	320,70
CNR-PTN-SLS	R2	Rodovia/Ferrovia	1970	261,44	7,22	268,66
BLS-PFC-SLS	S1	Rodovia/Ferrovia	1019	166,88	3,51	170,39
CMP-PFC-SLS	T1	Rodovia/Ferrovia	1075	173,48	3,78	177,26

\*TUP – Tupanciretã (RS); CAR – Carazinho (RS); EST – Estrela (RS); PRG – Porto Rio Grande (RS); CRA – Cruz Alta (RS); LON – Londrina (PR); PAR – Paranaguá (PR); MAM – Mamborê (PR); GUA – Guarapuava (PR); CSC – Cascavel (PR); ASS – Assis Chateaubriand (PR); CHO – Chopinzinho (PR); COR – Cornélio Procópio (PR); APU – Apucarana (PR); PNG – Ponta Grossa (PR); CST – Castro (PR); UBR – Uberlândia (MG); SNT – Santos (SP); GIR – Guaira (SP); SJB São Joaquim da Barra (SP); RVD – Rio Verde (GO); SRT – Santa Rita do Araguaia (GO); SSM – São Simão (GO); CRT – Cristalina (GO); ANH – Anhembi (SP); CHS – Chapadão do Sul (MS); MJC – Maracajú (MS); SGO – São Gabriel do Oeste (MS); ATG – Alto Araguaia (MT); PML – Primavera do Leste (MT); SSM – São Simão (GO); ANH – Anhembi (SP); SRS – Sorriso (MT); ITB – Itaituba (PA); BAR – Barcarena (PA); CNR – Canarana (MT) BLS – Balsas (MA); PTN – Porto Nacional (TO); PFC – Porto Franco (MA); SLS – São Luís (MA); CMP – Campos Lindos (TO).  
Elaborado pela autora (2017)

O gráfico da Figura 8 apresenta a dispersão entre os custos logísticos e de emissões em relação à distância total das alternativas intermodais apresentadas na tabela 9. A distribuição de valores possui uma  $R^2$  de 0,75. Na imagem é possível localizar grupos distintos, de acordo com o tipo de intermodalidade. Os significados das siglas são encontrados na Tabela 9.

Figura 8 - Gráfico de dispersão Intermodal: Custos logísticos + Custo de emissões (R\$/t) versus Distância (km)



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

As rotas que apresentaram os menores custos foram as que possuíam trajetos hidroviários, localizados no Estado do Rio Grande do Sul: A1 (Tupanciretã – Estrela – Porto Rio Grande), A5 (Tupanciretã – Porto Alegre – Porto Rio Grande), A6 (Tupanciretã –

Carazinho – Estrela – Porto Rio Grande), B5 (Cruz Alta – Porto Alegre – Porto Rio Grande), B6 (Cruz Alta – Estrela – Porto Rio Grande).

A rota Q7 (Sorriso (MT) com transbordo rodo-hidroviário em Porto Velho (RO) e destino em Barcarena (MA), possui distância maior entre origem-destino. Porém, o custo é amenizado devido ao transporte hidroviário ser mais vantajoso frente aos custos logísticos dos demais modos de transporte. A distância percorrida por hidrovia entre Porto Velho (RO) e Barcarena (MA) é de 2347 km, totalizando custo de R\$ 98,6 /t transportada no trecho.

As rotas L1 – Cristianópolis (GO), K1 - Rio Verde (GO), P2 Primavera do Leste (MT) e M2 - Chapadão do Sul (MT) possuem como destino final o porto de São Luiz (MA). Estas rotas são caracterizadas por grandes distâncias ferroviárias, acima de 2000 km. As melhores alternativas intermodais para as mesmas origens possuem como destino final o porto de Santos (SP), visto que o escoamento destas origens para os portos localizados ao norte do país acarretou em maiores custos.

Portanto, as rotas mais econômicas em relação ao custo de frete por toneladas encontradas pelo estudo são apresentadas na Tabela 9. Seus valores são derivados das tabelas 7 e 8, compreendendo os custos de transbordo onde ocorrem.

Tabela 9 - Rotas mais econômicas em relação ao custo por toneladas transportadas

Origem/destino*	Alternativa	Distância (km)	Custo (R\$/t)	Modo
TUP-EST-PRG	A1	703	97,20	Rodovia/Hidrovia
CRA-EST-PRG	B6	619	86,59	Rodovia/Hidrovia
LON-PAR	C5	609	79,19	Ferrovia
MAM-PAR	D1	589	103,70	Rodovia
ASS-PAR	E4	678	112,00	Rodovia
CHO-PAR	F2	502	98,37	Rodovia
COR-PAR	G4	494	97,43	Rodovia
CST-PAR	H1	258	69,90	Rodovia
UBR-SNT	I2	669	118,00	Rodovia
GIR-SNT	J2	545	103,44	Rodovia
RVD-SNT	K2	977	154,30	Rodovia
CRT-SNT	L2	966	153,03	Rodovia
CHS-SNT	M4	144	115,40	Ferrovia
MJC-SNT	N2	1096	168,40	Rodovia
SGO-SNT	O4	1206	181,00	Rodovia
PML-SSM-ANH-SNT	P3	1596	213,95	Rodovia/Hidrovia
SRS-ITB-BAR	Q1	1444	258,20	Rodovia/Hidrovia
CNR-BAR	R1	1695	239,00	Rodovia
BLS-SLS	S2	799	129,50	Rodovia
CMP-SLS	T2	907	146,00	Rodovia

\*TUP – Tupanciretã (RS); EST – Estrela (RS); PRG – Porto Rio Grande (RS); CRA – Cruz Alta (RS); LON – Londrina (PR); PAR– Paranaguá (PR); MAM – Mamborê (PR); ASS – Assis Chateaubriand (PR); CHO – Chopinzinho (PR); COR – Cornélio Procópio (PR); CST – Castro (PR); UBR – Uberlândia (MG); SNT – Santos (SP); GIR – Guaira (SP); RVD – Rio Verde (GO); CRT – Cristalina (GO); CHS – Chapadão do Sul (MS); MJC – Maracajú (MS); SGO – São Gabriel do Oeste (MS); PML – Primavera do Leste (MT); SSM – São Simão (GO); ANH – Anhembi (SP); SRS – Sorriso (MT) ; ITB – Itaituba (PA); BAR – Barcarena (PA); CNR – Canarana (MT) BLS – Balsas (MA); PFC – Porto Franco (MA); SLS – São Luís (MA); CMP – Campos Lindos (TO).

Fonte: Elaborado pela Autora (2017)

Os melhores resultados de desempenho de custos de emissões de CO<sub>2</sub> por toneladas transportadas são apresentados na Tabela 10. Os valores foram obtidos pela fórmula de estimação de emissões descrita anteriormente pela equação de emissões CO<sub>2</sub> em R\$/t (13).

Pode ser visto que a intermodalidade possui um desempenho ambiental melhor que transporte realizado exclusivamente por rodovia. O transporte unimodal que se destacou foi o modo ferroviário, devido sua baixa capacidade de geração de emissões de CO<sub>2</sub> comparado ao modal rodoviário, principal gerador de emissões no transporte de grãos.

Tabela 10 – Melhores de custos de emissões de CO<sub>2</sub> por toneladas transportadas

<b>Origem/destino*</b>	<b>Alternativa</b>	<b>Distância total (km)</b>	<b>CustoCO<sub>2</sub>/tonelada (R\$)</b>	<b>Modo</b>
TUP-CAR-EST-PRG	A6	695	1,74	Rodovia/Ferrovia/Hidrovia
CRA-EST-PRG	B6	619	1,63	Rodovia/Hidrovia
LON-PAR	C5	609	1,78	Ferrovia
MAM-GUA-PAR	D3	503	1,90	Rodovia/Ferrovia
ASS-CSC-PAR	E1	690	2,17	Rodovia/Ferrovia
CHO-GUA-PAR	F1	413	1,48	Rodovia/Ferrovia
COR-APU-PAR	G1	519	1,75	Rodovia/Ferrovia
CST- PNG-PAR	H2	267	0,86	Rodovia/Ferrovia
UBR-PED-SNT	I4	739	2,99	Rodovia/Ferrovia
GIR-SJB-SNT	J3	618	1,93	Rodovia/Ferrovia
RVD-SRT-SNT	K3	1205	4,03	Rodovia/Ferrovia
CRT-SSM-ANH-SNT	L4	1382	3,87	Rodovia/Hidrovia
CHS-SNT	M4	1044	3,05	Ferrovia
MJC-PAR	N3	1042	3,05	Ferrovia
SGO-ATG-SNT	O3	1292	4,44	Rodovia/Ferrovia
PML-SSM-ANH-SNT	P3	1596	4,88	Rodovia/Hidrovia
SRS-ITB-BAR	Q1	1444	5,56	Rodovia/Hidrovia
CNR-PTN-SLS	R2	1970	7,22	Rodovia/Ferrovia
BLS-PFC-SLS	S1	1019	3,51	Rodovia/Ferrovia
CMP-PFC-SLS	T1	1075	3,78	Rodovia/Ferrovia

\*TUP – Tupanciretã (RS); CAR – Carazinho (RS); EST – Estrela (RS); PRG – Porto Rio Grande (RS); CRA – Cruz Alta (RS); LON – Londrina (PR); PAR– Paranaguá (PR); MAM – Mamborê (PR); GUA – Guarapuava (PR); CSC – Cascavel (PR); ASS – Assis Chateaubriand (PR); CHO – Chopinzinho (PR); COR – Cornélio Procópio (PR); APU – Apucarana (PR); PNG – Ponta Grossa (PR); CST – Castro (PR); UBR – Uberlândia (MG); SNT – Santos (SP); GIR – Guaira (SP); SJB São Joaquim da Barra (SP); RVD – Rio Verde (GO); SRT – Santa Rita do Araguaia (GO); SSM – São Simão (GO); CRT – Cristalina (GO); ANH – Anhembi (SP); CHS – Chapadão do Sul (MS); MJC – Maracajú (MS); SGO – São Gabriel do Oeste (MS); ATG – Alto Araguaia (MT); PML – Primavera do Leste (MT); SSM – São Simão (GO); ANH – Anhembi (SP); SRS – Sorriso (MT) ; ITB – Itaituba (PA); BAR – Barcarena (PA); CNR – Canarana (MT) BLS – Balsas (MA); PTN – Porto Nacional (TO); PFC – Porto Franco (MA); SLS – São Luís (MA); CMP – Campos Lindos (TO).

Fonte: Elaborado pela autora (2017)

O cálculo dos indicadores apresenta as alternativas para a escolha de rotas com melhores desempenhos ambientais e econômicos. A intermodalidade possui desempenho melhor, considerando os custos de emissões, contrapondo-se aos menores custos logísticos de opções unimodais. A economia de emissões de CO<sub>2</sub> do transporte intermodal, em relação ao custo de emissões por rodovia pode ser obtida pela Equação 15, conforme proposto por Silva (2016). A tabela 12 Apresenta os percentuais de economia intermodal frente ao transporte rodoviário.

$$Economia_{CO_2} = \frac{Er - Ei}{Er} \quad (15)$$

Em que:

-  $Economia_{CO_2}$  = Economia de CO<sub>2</sub> da alternativa de rota por meio do transporte intermodal frente ao transporte rodoviário (%)

-  $Er$  = Emissão de CO<sub>2</sub> em R\$/t por transporte rodoviário

-  $Ei$  = Emissão de CO<sub>2</sub> em R\$/t por transporte intermodal

Tabela 11 – Percentuais de economia de CO<sub>2</sub>/tonelada (R\$) intermodal frente ao modal rodoviário

Origem/destino*	Alternativa	Distância total (km)	Custo intermodal CO <sub>2</sub> (R\$/t)	Custo Rodoviário CO <sub>2</sub> (R\$/t)	Intermodalidade	Economia (%)
TUP-CAR-EST-PRG	A6	695	1,74	2,28	Rodovia/Ferrovia/Hidrovia	24%
CRA-EST-PRG	B6	619	1,63	2,60	Rodovia/Hidrovia	37%
MAM-GUA-PAR	D3	503	1,90	2,78	Rodovia/Ferrovia	32%
ASS-CSC-PAR	E1	690	2,17	3,20	Rodovia/Ferrovia	32%
CHO-GUA-PAR	F1	413	1,48	2,37	Rodovia/Ferrovia	38%
COR-APU-PAR	G1	519	1,75	2,33	Rodovia/Ferrovia	25%
CST- PNG-PAR	H2	267	0,86	1,22	Rodovia/Ferrovia	29%
UBR-PED-SNT	I4	739	2,99	3,16	Rodovia/Ferrovia	5%
GIR-SJB-SNT	J3	618	1,93	2,57	Rodovia/Ferrovia	25%
RVD-SRT-SNT	K3	1205	4,03	4,62	Rodovia/Ferrovia	13%
CRT-SSM-ANH-SNT	L4	1382	3,87	4,56	Rodovia/Hidrovia/Rodovia	15%
SGO-ATG-SNT	O3	1292	4,44	5,70	Rodovia/Ferrovia	22%
PML-SSM-ANH-SNT	P3	1596	4,88	7,18	Rodovia/Hidrovia	32%
SRS-ITB-BAR	Q1	1444	5,56	9,45	Rodovia/Hidrovia	41%
CNR-PTN-SLS	R2	1970	7,22	8,01	Rodovia/Ferrovia	10%
BLS-PFC-SLS	S1	1019	3,51	3,77	Rodovia/Ferrovia	7%
CMP-PFC-SLS	T1	1075	3,78	4,29	Rodovia/Ferrovia	12%

\*TUP – Tupanciretã (RS); CAR – Carazinho (RS); EST – Estrela (RS); PRG – Porto Rio Grande (RS); CRA – Cruz Alta (RS); LON – Londrina (PR); PAR– Paranaguá (PR); MAM – Mamborê (PR); GUA – Guarapuava (PR); CSC – Cascavel

(PR); ASS – Assis Chateaubriand (PR); CHO – Chopinzinho (PR); COR – Cornélio Procópio (PR); APU – Apucarana (PR); PNG – Ponta Grossa (PR); CST – Castro (PR); UBR – Uberlândia (MG); SNT – Santos (SP); GIR – Guaira (SP); SJB São Joaquim da Barra (SP); RVD – Rio Verde (GO); SRT – Santa Rita do Araguaia (GO); SSM – São Simão (GO); CRT – Cristalina (GO); ANH – Anhembi (SP); CHS – Chapadão do Sul (MS); MJC – Maracajú (MS); SGO – São Gabriel do Oeste (MS); ATG – Alto Araguaia (MT); PML – Primavera do Leste (MT); SSM – São Simão (GO); ANH – Anhembi (SP); SRS – Sorriso (MT); ITB – Itaituba (PA); BAR – Barcarena (PA); CNR – Canarana (MT) BLS – Balsas (MA); PTN – Porto Nacional (TO); PFC – Porto Franco (MA); SLS – São Luís (MA); CMP – Campos Lindos (TO).

Fonte: Elaborado pela autora (2017)

A definição de eficiência ambiental considerada nesta dissertação é de que quanto menor a capacidade de gerar emissões por toneladas transportadas da rota analisada, melhor é o seu desempenho ambiental.

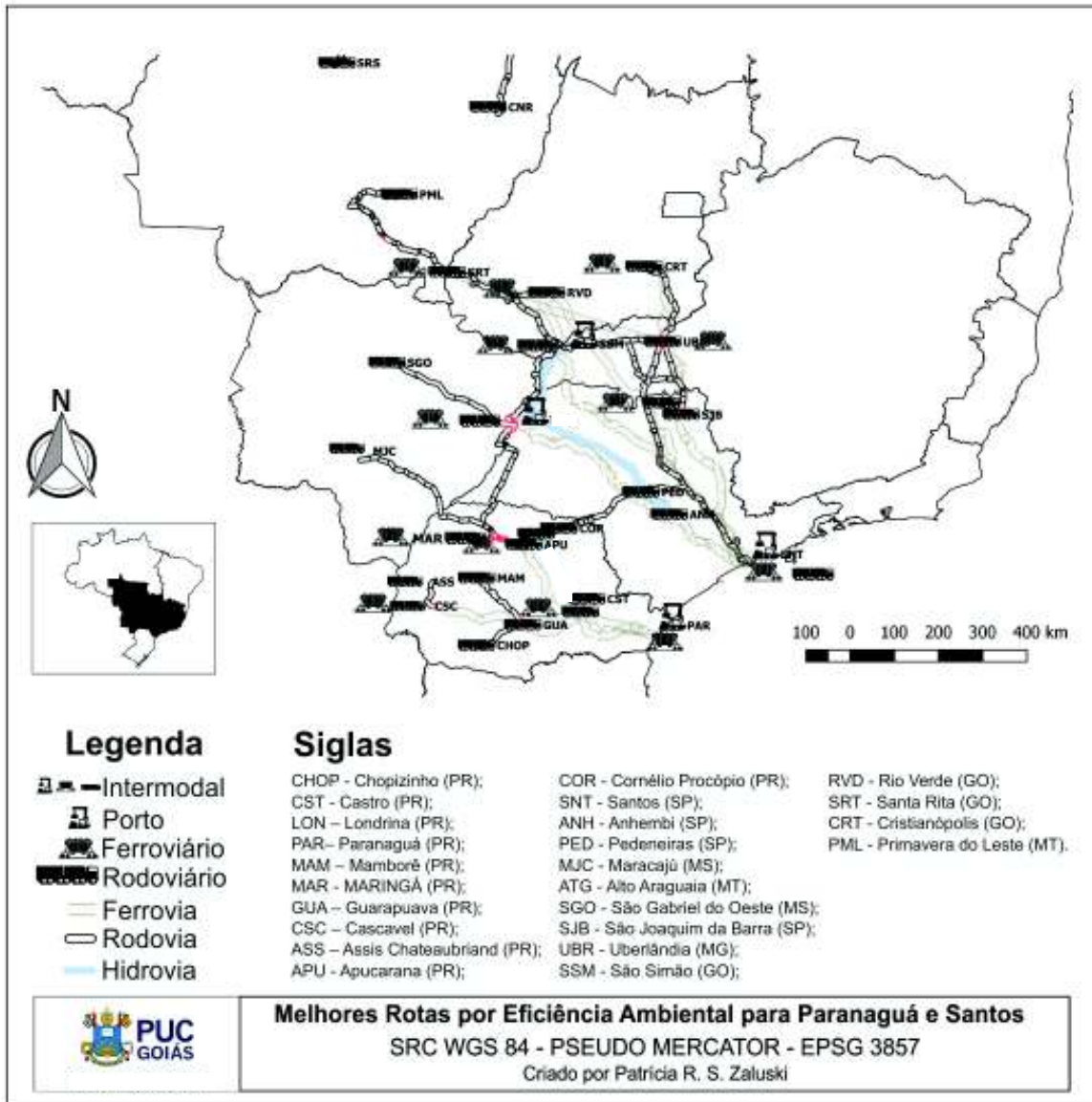
Após a análise dos resultados e da captura dos pontos de intermodalidade, origem e destino da produção, as melhores rotas ambientais foram plotadas em um mapa (Figura 9) com o auxílio do *software QuantumGis*. O mapa foi construído conforme o banco de dados de informações geográficas espaciais do PNLT (2010), o qual contém camadas da infraestrutura de transporte do país em arquivo *shapefiles*.

O Mapa do Brasil contempla o sistema de referências de coordenadas (SRC) WGS84 (*world Geodetic System 1984*), utilizado principalmente em sistemas GPS. No *software* o SRC selecionado para confecção do mapa foi o *Pseudo Mercator EPSG:3857*.

O mapa apresenta os corredores logísticos, utilizados nas rotas com melhores custos de CO<sub>2</sub> por toneladas transportadas, contém a localização exata dos pontos de origens e destino finais, bem como seus pontos de transbordo possíveis. Para melhor visualização, o mapa do Brasil foi segmentado em três grupos:

- Rotas com destinos aos portos de Santos (SP) e Paranaguá (PR): Figura 9;
- Rotas com destino aos portos de São Luis (MA) e Barcarena (PA): Figura 10;
- Rotas com destino ao porto de Rio Grande (RS): Figura 11.

Figura 9 – Representação dos corredores logísticos das melhores rotas por eficiência ambiental – destino porto de Santos (SP) e Paranaguá (PR)

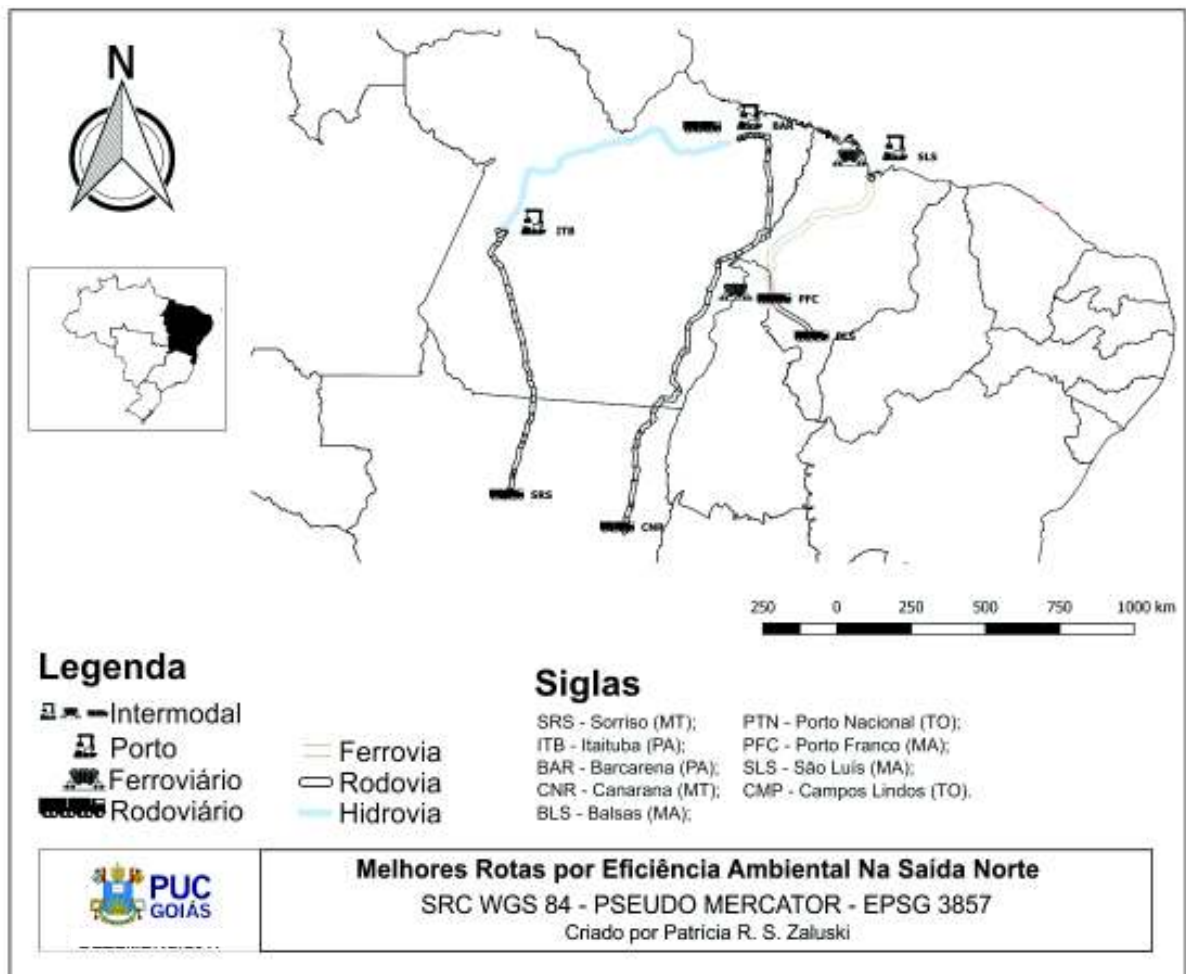


Fonte: Elaborado pela Autora (2018)

As rotas com origem no Estado de Mato Grosso e Goiás, com destino ao porto de Santos (SP), são privilegiadas por possuírem a capacidade de integração intermodal com transporte hidroviário. O ponto de integração é localizado em São Simão (GO), conforme apresentado na figura 9.



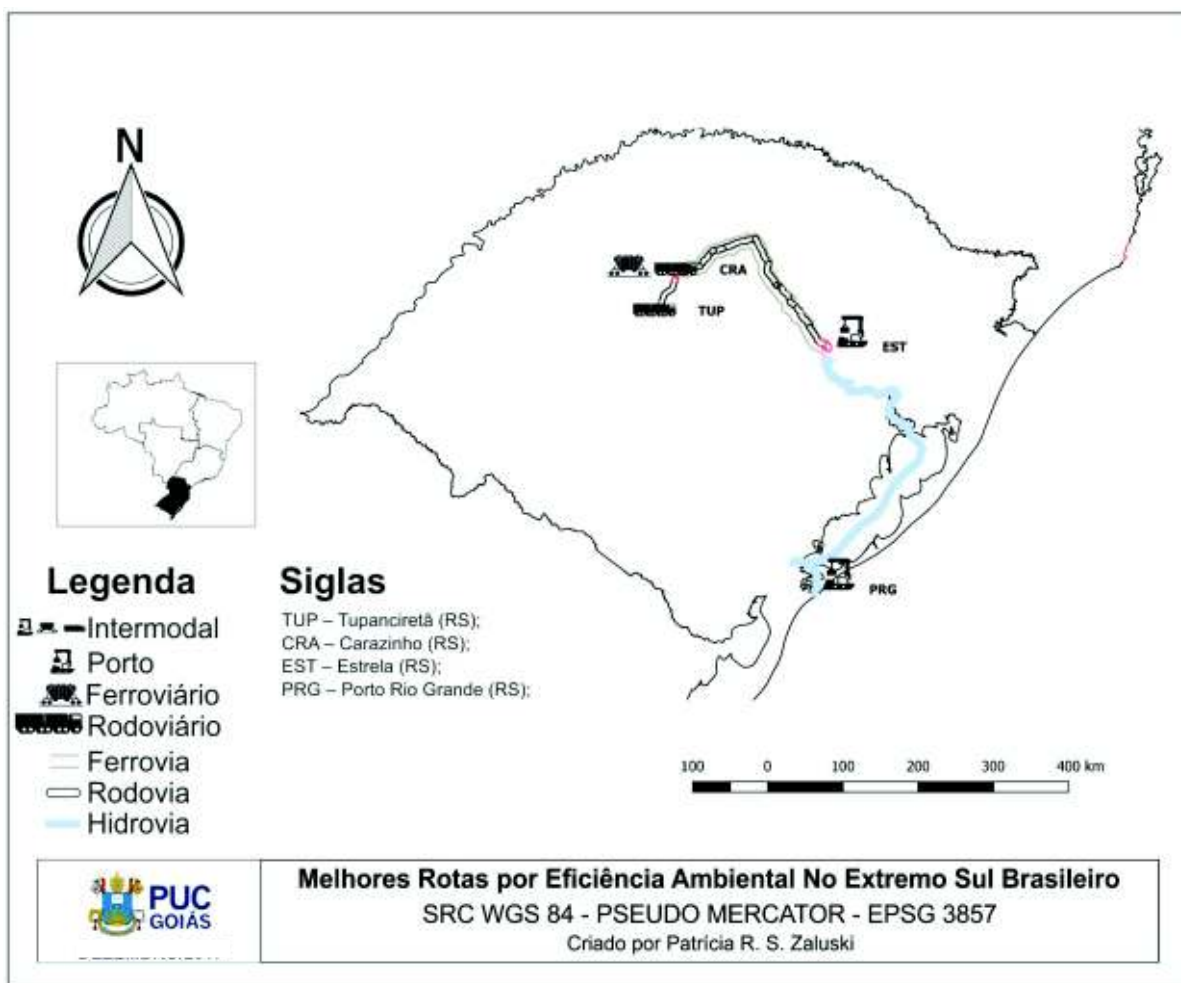
Figura 10 – Representação dos corredores logísticos das melhores rotas por eficiência ambiental – destino portos de Barcarena (PA) e São Luís (MA)



Fonte: Elaborado pela Autora (2018)

A rota que merece destaque é a rota intermodal Q1 – Sorriso (MT) – Barcarena (MA), com transbordo rodo-hidroviário em Itaituba (PA). Conforme a análise da Tabela 11 possuiu uma redução de 41% no custo de emissões em contrapartida ao transporte exclusivamente rodoviário. Esta rota detém os melhores custos de frete e emissões de CO<sub>2</sub>.

Figura 11 – Representação dos corredores logísticos das melhores rotas por eficiência ambiental – destino porto Rio Grande



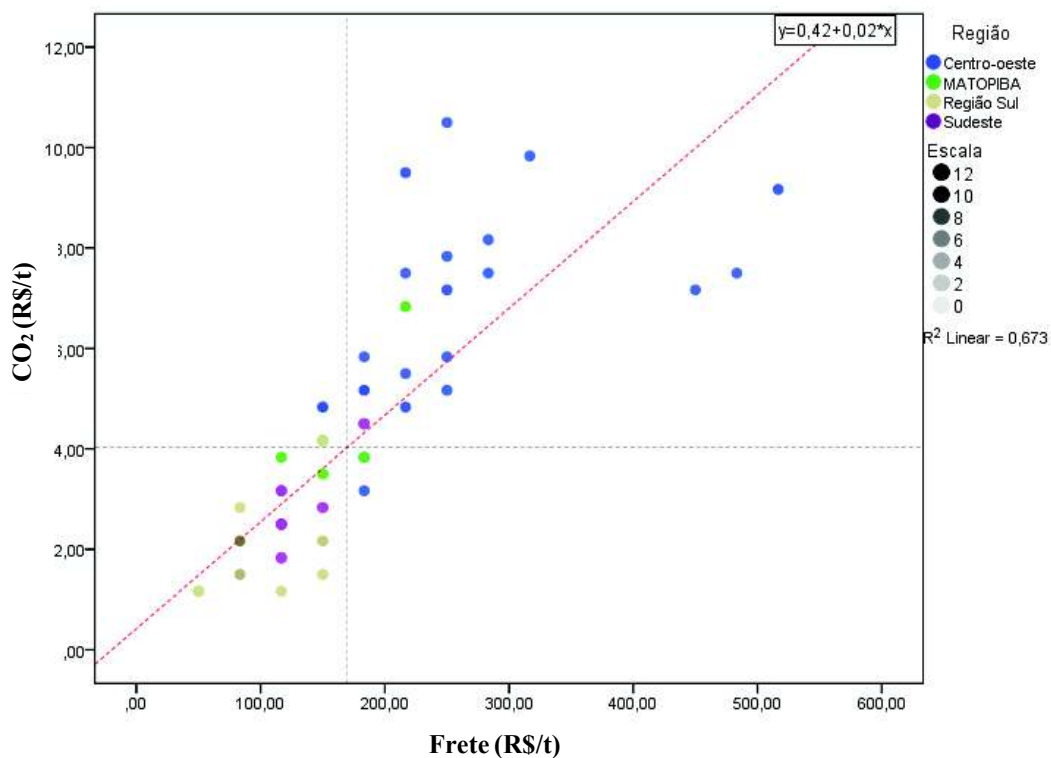
Fonte: Elaborado pela autora (2018)

A região Sul do país possui os melhores desempenhos quanto aos custos logísticos, uma vez que as regiões produtoras se encontram próximas do porto de destino. A rota com melhores custos de emissões possui trajeto rodo-hidroviário, com transbordo em Estrela (RS).

Os mapas 9-11 servem para referência geográfica dos corredores logísticos utilizados pelas rotas da tabela 11, que apresentou os melhores custos de emissões. A análise por região do país é apresentada a seguir.

O gráfico de dispersão apresentado na figura 12 possibilita visualizar o desempenho econômico e ambiental das regiões em estudo. A análise de regressão possui  $R^2$  de 0,67. O eixo X representa os valores de frete em R\$/t transportada, e o eixo Y atribui aos custos de emissões de R\$/t. As regiões Sul e Sudeste apresentam melhor eficiência logística devido a suas proximidades com os portos de destino final. Nota-se que a região Centro-oeste é a que possui maiores custos.

Figura 12 - Gráfico de dispersão dos Custos de CO2/t transportada x custos de Frete/t



Fonte: Elaborado pela autora (2017)

Conforme a característica atual da malha logística brasileira, o custo do transporte intermodal pode ser elevado em determinados trajetos. Porém pode-se ter uma economia no valor de emissões, quando se reduz trajetos origem-destino exclusivamente unimodais, redistribuindo-os para os demais modos de transporte, de menor impacto em geração de poluentes atmosféricos. Na Figura 12 é visto grupos com valores de frete relativamente próximos, possuindo diferentes níveis de custos de emissões. Pode ser possível encontrar um equilíbrio entre o econômico e ambiental.

#### 4.3. COMPARAÇÃO DAS PRINCIPAIS ROTAS ATUAIS COM AS SOLUÇÕES ENCONTRADAS

Nesta seção são comentados detalhadamente as principais rotas utilizadas atualmente no escoamento de soja de exportação no Brasil, destacadas por região. As origens-destinos com possibilidade de redução de custos logísticos também são apresentadas nesta seção.

#### 4.3.1. Rotas de escoamento da Região Sul

O Estado do Rio Grande do Sul possui uma variedade de rotas de escoamento. Sua produção destinada à exportação é escoada quase em sua totalidade para o porto de Rio Grande (RS). As principais vias de acesso ao porto de Rio Grande (RS) são as rodovias BR 158, BR 392, BR 153, BR 471, BR 386 e BR 116. A principal malha ferroviária utilizada pelo estado é localizada no trecho de Cruz Alta (RS) e municípios vizinhos, tendo como destino final o porto de Rio Grande (RS). A hidrovia que apresenta uma alternativa relevante para o transporte é a Lagoa dos Patos, localizada entre Porto Alegre (RS) e Porto Rio Grande (RS) (CNT, 2015a).

As principais rotas do estado do Rio Grande do Sul saindo de Cruz Alta (RS) e Tupanciretã (RS) seguem por rodovia pela BR 392, com destino direto ao porto de Rio Grande (RS). Conforme o relatório sobre o escoamento da soja elaborado pelo MTPA (2017), uma pequena parte é escoada diretamente via ferrovia, saindo de Tupanciretã ao porto de destino.

Conforme os resultados apresentados na seção anterior (Tabela 7), o custo total via modal rodoviário, saindo de Tupanciretã (RS) é de R\$ 98,00/t, possuindo custo de emissão de CO<sub>2</sub> de R\$2,27 por tonelada transportada. O percurso total é de 482 km. A melhor alternativa de transporte entre esta origem e destino é representada pela rota A1 (TUP-PRG). O transporte direto via modal ferroviário (A3), possui percurso de 820 km e um custo de R\$ 99,27/t. O custo de emissões de CO<sub>2</sub> é de R\$ 2,39 por toneladas transportadas.

A rota saindo de Cruz Alta (RS), representada por B4 (CRA-PRG), por rodovia possui um trajeto total de 488 km, custo de transporte de R\$ 96,72/t e custo de emissões de CO<sub>2</sub> de R\$ 2,30 por toneladas transportadas. Já a alternativa por modal ferroviário (B1) possui um custo de R\$ 103,00/t, com percurso total de 887 km e custo de emissão de R\$CO<sub>2</sub> 2,59 por toneladas transportadas. A melhor rota encontrada nesta pesquisa sugere o transporte intermodal, seguindo de Cruz Alta (RS) à Estrela (RS), com transbordo rodo-hidroviário, seguindo destino ao porto de Rio Grande (RS). O valor total desta alternativa é de R\$ 86,59/t de soja transportada.

Conforme dados do sistema AliceWEB (2017) e CNT (2015a), o escoamento da produção de soja do Estado do Paraná possui fluxo predominante para o porto de Paranaguá (PR). Os principais embarcadores da região central do estado são localizados nas cidades de

Maringá (PR) e Londrina (PR). Os pontos de transbordo rodo-ferroviários são localizados nas cidades de Ponta Grossa (PR) e Guarapuava (PR), pela ferrovia ALLMS. A rota atual percorre as rodovias BR 487 e BR 376 e por ferrovia, sendo que majoritariamente as mercadorias transportadas via modal ferroviário são embarcadas em Maringá (PR) e Londrina (PR). Já a produção originada do oeste do estado é escoada principalmente pela rodovia BR 277. Um baixo volume é transportado via ferrovia (CNT, 2015a).

As alternativas que representam as rotas atuais do Estado do Paraná, conforme dados da CNT (2015a), foram as melhores rotas encontradas nesta pesquisa:

- C5 (LON-PAR): Londrina (PR) – Paranaguá (PR), com transporte direto via ferrovia, trajeto de 609 km, custo de transporte de R\$ 79,19/t e custo de emissão de CO<sub>2</sub> de R\$ 1,78 por tonelada transportada;
- D1 (MAM-PAR): Mamborê (PR) – Paranaguá (PR), via BR-487, trajeto total de 589 km, custo de transporte de R\$ 103,7/t e custo de emissão de CO<sub>2</sub> de R\$2,78 por tonelada transportada;
- E4 (ASS-PAR): Assis Chateaubriand (PR) – Paranaguá (PR), com transporte direto por rodovia pela BR 277. Esta rota possui trajeto total de 703 km, custo de transporte de R\$ 112,00/t e um custo de emissão de CO<sub>2</sub> de R\$ 3,20 por tonelada transportada;
- F1 (CHO-PAR): Chopinzinho – Paranaguá (PR), seguindo por rodovia pela BR-277, com transbordo para o modal ferroviário no Município de Guarapuava (PR). A rota possui trajeto com percurso total de 413 km, custo de transporte de R\$101,57/t e custo de emissões de R\$CO<sub>2</sub> 1,47 por tonelada transportada;
- G1 (COR-APU-PAR): Cornélio Procópio (PR) – Paranaguá (PR), esta alternativa segue via modal rodoviário, pela BR-369 até Apucarana (PR), sofre transbordo para modal ferroviário e segue ao porto de destino em Paranaguá (PR). Esta rota possui um custo total de R\$ 143,06/t, e um custo de emissão de CO<sub>2</sub> de R\$ 1,75 por tonelada transportada. O trajeto total é de 525 km;
- H1 (CST-PAR): Castro (PR) – Paranaguá (PR), o escoamento da produção desta alternativa segue via modal rodoviário pela BR 277. O trajeto total é de 258 km, possuindo custo de R\$ 69,9/t e custo de emissão de CO<sub>2</sub> de R\$ 1,21 por tonelada transportada.

#### 4.3.2. Rotas de escoamento da Região Centro-oeste

O escoamento da região Centro-oeste do país percorre cerca de 1.000 a 2.200km, sendo o modal rodoviário o mais utilizado. As rotas mais utilizadas possuem como destino final o porto de Santos (SP). As rotas mais comuns são as que margeiam a Ferrovia ALLMN, pelas rodovias BR 158 e BR 364 (CONAB, 2015a). As rotas principais utilizadas para o escoamento do grão da região Centro-oeste são:

- I2 (UBR-SNT): Uberlândia (MG) – Santos (SP). O fluxo de escoamento segue via BR 050, percorrendo um total de 669 km, com custo de transporte de R\$ 118,00/t e custo de emissão de CO<sub>2</sub> de R\$ 3,16 por tonelada transportada;

- J2 (GIR-SNT): Guaíra (SP) – Santos (SP). A rota segue por rodovia pela BR 364, o trajeto total é de 545 km, o custo de transporte é de R\$ 103,44/t e o custo de emissão de CO<sub>2</sub> é de R\$ 2,57 por toneladas;

- K2 (RVD-SNT): Rio Verde (GO) – Santos (SP). A rota segue por rodovia pela BR 364, possui percurso total de 977 km, custo total de transporte de R\$154,30 E custo de emissões deCO<sub>2</sub> de R\$ 4,61 por toneladas transportadas;

- L2 (CRT-SNT): Cristalina (GO) – Santos (SP). Transporte feito pela rodovia BR 050, possui um percurso total de 966 km, custo total de transporte é de R\$ 153,03/t e custo de emissões de CO<sub>2</sub> de R\$ 4,56 por toneladas transportadas;

- M5 (CHS-SNT): Chapadão do Sul (MS) – Santos (SP), A rota segue por rodovia pela BR-364, possui percurso total de 975 km e um custo total de R\$ 154,14/t. O custo de emissões é de R\$ CO<sub>2</sub> 4,60 por toneladas transportadas;

- N6 (MCJ-SNT): Maracajú (MS) – Santos (SP) A rota segue por rodovia pela BR-267 e BR-374, possui um percurso total de 1096 km. O custo total de transporte é de R\$ 168,40/t e um custo de emissões de CO<sub>2</sub> de R\$ 5,17 por toneladas transportadas;

- O4 (SGO-SNT): São Gabriel do Oeste (MS) – Santos (SP) O trajeto é feito pela BR-262, possui um percurso total de 1206 km e um custo total de transporte de R\$ 181,00/t, os custos de emissões de CO<sub>2</sub> de R\$ 5,69 por tonelada transportadas;

- P4 (PML-SNT): Primavera do Leste (MT) – Santos (SP). A rota segue pela rodovia estadual MS-306 e pela BR-158. Esta rota possui um percurso total de1520 km, o custo total de

transporte é de R\$ 218,39/t e o custo de emissão e de CO<sub>2</sub> de R\$ 7,18 por toneladas transportadas;

- Q4 (SRS-SNT): Sorriso (MT) – Santos (SP) O trajeto é feito pela BR-163, possui percurso total de 2017 km. O custo total de transporte é de R\$ 225,00/t e custo total de emissões de CO<sub>2</sub> de R\$ 9,52 por toneladas transportadas.

As vias de escoamento ferroviárias utilizadas pela região são as malhas ALLMN, que atende Mato Grosso do Sul, a malha FCA entre Goiás e São Paulo, utilizando alguns trechos das ferrovias MRS e ALLMP. Existe a possibilidade de transbordo hidro-ferroviário (São Simão – GO) e hidro-rodoviárias (Anhembi – SP). Com destino a Paranaguá predomina o transporte direto por rodovias, percorrendo as rodovias BRs 163, BR 376, BR 487 e BR 277.

#### 4.3.3. Rotas de escoamento da Região Norte

Conforme o relatório sobre rotas de escoamento de grãos da CONAB (2017a) para a soja escoada pelo norte do país, ainda ocorre uma deficiência na infraestrutura de transporte entre as zonas de produção e portos de destino. Algumas das rodovias não possuem pavimentação, as hidrovias carecem de sinalização e a malha ferroviária ainda é dispersa, necessitando longas distâncias de tráfego por parte dos caminhões à um terminal ferroviário mais próximo. O principal modo de transporte da região norte do país é o hidroviário, sendo que o modo rodoviário serve de suporte, deslocando dos centros de produção aos portos de transbordo rodo-hidroviários. As vias de acesso aos portos são as rodovias BR 158, PA 287, BR163, BR174 e BR-364, a ferrovia Norte-Sul, e vias hidroviárias interiores do Rio Madeira e Tapajós.

O corredor hidroviário do Rio Madeira atende à produção do Estado do Mato Grosso, os produtos são escoados principalmente por Porto Velho (RO), sofrendo transbordo para o modo hidroviário (CONAB, 2017a). A rota atual, determinada pela alternativa Q7 (SRS-PTV-BAR), apresentou um custo total de transporte de R\$ 310,92/t, percurso total é de 3.792 km (na composição intermodal rodo-hidroviária) e custo de emissões de CO<sub>2</sub> estimado de R\$ 9,78 por tonelada transportada. A melhor alternativa identificada nesta pesquisa é a Q1 (SRS-ITB-BAR), com extensão total de 1.444 km, com custo de transporte de R\$ 258,2/t, e custo de emissões de R\$5,56 por tonelada transportada.

A soja originada próxima aos Município de Canarana (MT) e Querência (MT) seguem com destino ao Porto de São Luís (MA). A rota conta com alternativa rodo-ferroviária,

seguindo a BR-158 com transbordo ferroviário em Porto Franco (TO), em que segue até o porto de São Luís (MA). O trajeto possui cerca de 2.051 km e um custo total de R\$ 288,56/t, o custo estimado de emissões é de CO<sub>2</sub> de R\$ 8,00 por tonelada transportada.

A melhor rota encontrada nesta pesquisa foi a R3 – (CNR-PTN-SLS), em que o fluxo segue por rodovia pela MT-326, sofre transbordo ferroviário em Porto Nacional (TO), seguindo ao Porto de São Luís (MA). A rota sugerida possui um percurso ferroviário maior em comparação à principal rota utilizada atualmente. A economia no custo de transporte chega a cerca de R\$ 27,13 por toneladas. As rotas com possibilidades de economia são apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Rotas sugeridas com possibilidade de economia em comparação às rotas principais utilizadas no escoamento da soja

<b>Alternativa sugerida</b>	<b>Descrição</b>
- A1: TUP-EST-PRG: Origem: Tupanciretã (RS) Transbordo: Estrela (RS) Destino: Porto de Rio Grande (RS) Economia de: R\$2,7/t	A rota utiliza o modal rodoviário, saindo da origem via BR-386, com a ocorrência de transbordo para troca de modal no Município de Estrela (RS), seguindo pelo modal hidroviário, percurso total de 703 km.
- B6 CRA-EST-PRG: Origem: Cruz Alta (RS) Transbordo: Estrela (RS) Destino: Porto Rio Grande (RS) Economia de: R\$ 10,3/t.	A soja é embarcada em Cruz Alta, seguindo por modal rodoviário via BR-386, com ocorrência de transbordo para troca de modal no Município de Estrela (RS), seguindo pelo modal hidroviário. O percurso total desta rota é de 619 km.
- F2: CHO-PAR: Origem: Chopinzinho (PR) Destino: Paranaguá (PR) Economia de: R\$ 6,00/t	A rota segue via modal rodoviário pela BR -277, com destino direto ao porto de Paranaguá. O percurso total é de 502 km.
- G4: COR-PAR: Origem Cornélio Procópio (PR) Destino: Paranaguá (PR) Economia de: R\$ 43,29/t	Esta rota segue direto ao destino final, via modal rodoviário pela BR- 277, o percurso total desta rota é de 494 km.
- M4: (CHS-SNT) Origem: Chapadão do Sul (MS) Destino: Santos (SP) Economia de: R\$38,74/t	A rota sugerida possui trajeto realizado direto ao porto de destino por ferrovia. O percurso total é de 1044 km.
- P3: (PML-SSM-ANH-SNT) Origem Primavera do Leste Transbordo: São Simão (GO); Anhembi (SP) Destino: Santos (SP) Economia de R\$4,4/t	O percurso envolve transbordo em duas localidades. Apesar do custo de transbordo estar incluído no cálculo da rota, a alternativa se mostrou viável. A Rota segue por Rodovia de Primavera do Leste (MS) à São Simão (GO) via BR-158, sofrendo transbordo rodo-hidroviário, segue pela hidrovía Paranaíba ao Município de Anhembi (SP), seguindo destino final por rodovia, pela BR-374. O trajeto possui um percurso total de 1.596 km.
- Q1: SRS-ITB-BAR: Origem: Sorriso (MT) Transbordo: Itaituba (PA) Destino: Porto de Barcarena (MA) Economia de: R\$56,93/t	A carga segue de Sorriso (MT) por rodovia, via BR-163, sofrendo transbordo rodo-hidroviário no porto de Itaituba (PA). O destino final da carga é o Porto de Barcarena (MA), o percurso total é de 1.444 km.

Fonte: Elaborado pela Autora (2017)



#### 4.3.4. Rotas de escoamento da região de MATOPIBA

A região produtora de soja localizada no nordeste do país, denominada MATOPIBA – Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, possui uma rota distinta, em sua maior parte realizada por modal rodoviário, com destino ao porto de São Luís (CONAB, 2017a).

Vale ressaltar as condições da infraestrutura logística dos corredores de exportação de grãos relatadas pelo MTPA (2017). As condições atuais da infraestrutura vão desde a falta de sinalização e balizamento nas hidrovias dos Rios Tapajós, Madeira e Amazonas, à falta de pavimentação em trechos de rodovias do Corredor Norte. Alguns trechos do corredor Sul já se encontram próximos à sua capacidade máxima.

A BR-163/MT-PA possui gargalos como falta de pavimentação em um trecho total de 108 km, e patologias no pavimento. Em certos trechos da rodovia há pontes de madeira de faixa única. Estes gargalos podem ser um dos agravantes para a não escolha desta rota por parte da maioria dos embarcadores de soja. Existe um grande índice de congestionamento na BR 135/MA no trecho próximo à chegada do porto de São Luís (MA). O corredor Sudeste possui necessidades de ampliação de capacidade das malhas ferroviárias ALLMN e ALLMP, MRS, FCA e EFVM. A Hidrovia Tietê-Paraná necessita de dragagem, abertura de canais, e adequação de eclusas (MTPA, 2017; CONAB, 2017a).

As rotas sugeridas poderiam gerar uma economia significativa em custos logísticos por tonelada. O valor economizado seria convertido em rentabilidade para o mercado exportador da soja no Brasil. O país carece de investimentos na infraestrutura logística, para o escoamento via corredor norte e nordeste, visto que a produção agrícola expandiu suas fronteiras para estas regiões.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No mercado mundial, o Brasil detém um potencial produtor de soja expressivo, liderando em produtividade por hectare. A expansão agrícola levou a produção de soja das regiões sul às regiões norte e nordeste do país. Apesar de ocupar o posto de maior produtor mundial, os entraves logísticos do país provocam perda de eficiência e altos custos logísticos, tornando a *commodity* menos rentável quando comparado à produção em outros países.

Em se tratando de escolha de modais para o transporte da soja de exportação, os produtores brasileiros têm optado pela disponibilidade e pelo custo agregado. As configurações atuais da malha logística brasileira predispõem o uso do modal rodoviário, devido à alta oferta e disponibilidade de veículos, entre opções de rotas variadas. O mesmo modal dispõe de custos relativamente baixos quando dispostos às distâncias menores. Já o modal ferroviário apresenta melhor desempenho quando condicionado às longas distâncias. Atualmente, apesar do país possuir boa variedade de hidrovias, o número de malhas hidroviárias utilizadas no transporte de grãos agrícolas é relativamente pequeno.

O setor de transporte é um dos principais contribuintes na poluição atmosférica, sendo que no transporte de cargas brasileiro, o modal rodoviário é o principal agente poluidor. Na matriz logística do transporte de cargas do país, o uso do modal rodoviário é predominante. A prática da intermodalidade ainda é pouco explorada por embarcadores de soja, sendo que em sua maior parte o transporte da soja é realizado por rodovias.

O transporte unimodal no Brasil recebe destaque. Conforme os resultados neste trabalho, o modal rodoviário ainda possui menores custos logísticos e detém maior oferta e disponibilidade no mercado. O fato ocorre devido às configurações atuais da malha logística brasileira, em que a falta de incentivos ao uso da intermodalidade e a infraestrutura inadequada afetam diretamente os custos logísticos de escoamento. Além disso, a localização de terminais de transbordo é dispersa em relação às zonas produtoras. Em alguns casos, a intermodalidade desempenhou uma eficiência de custo/emissões melhores.

Uma das contribuições do trabalho para a literatura é a apresentação de nova equação de estimação de emissões, baseada na adaptação de fórmulas encontradas na literatura científica, compreendendo a metodologia *bottom-up* do IPCC. As emissões de CO<sub>2</sub> foram avaliadas conforme a quilometragem percorrida, e desempenho do consumo de combustível por

veículo, levando em consideração a capacidade de transporte de soja de cada veículo por modal. Neste método, o fator de emissão é constante ao longo do tempo.

Notou-se conflito entre as alternativas com melhores desempenhos ambientais quando contrapostos aos custos de frete. Sugere-se como pesquisa futura a aplicação da decomposição de *Benders* e aplicação da programação linear em rede de fluxo multi-objetivo capacitado, para fins de encontrar otimização do cenário atual do transporte da soja de exportação, objetivando a minimização simultânea de emissões e custos logísticos.

Outra sugestão de pesquisa futura é o estudo da viabilidade de criação de novos armazéns e terminais intermodais, de modo que favoreçam o escoamento das regiões Centro-oeste e nordeste para os portos localizados na região norte do país. A região Centro-oeste é a que mais perde em valor agregado nos custos de transporte da soja de exportação.

## REFERÊNCIAS

ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. **Estatística - Coordenadoria de Economia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE=>>>, acesso em: set 2017.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Boletim Sustentabilidade em Pauta** A temática já está incorporada como estratégia de negócio e sobrevivência de empresas dos mais diferentes segmentos. v.13, n.154, Dez. 2016

ALICEWEB – **Sistema de Análise de informações do comércio exterior**. MDIC disponível em: <<http://alicesweb.mdic.gov.br/>> Acesso em mar 2017.

ALMEIDA, M. S; AMARAL, M; MORABITO, R. Um estudo sobre a localização de terminais intermodais na rede de escoamento da soja brasileira **Production**, v.26, n.3, p. 562-580, 2016 <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.144513>

ANTT - Agência Nacional dos Transportes Terrestres. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários - Relatório Final ano-base 2013**, Brasília, 2014a.

ANTT - Agência Nacional dos Transportes Terrestres. **Acompanhamento das concessões ferroviárias – Relatório anual 2013**. Brasília, 2014b.

ANTAQ - Agência nacional de Transportes Aquaviários. **Relatório Técnico – Bacia Amazônica**. UFSC/LabTrans – SC, 2013a.

ANTAQ - Agência nacional de Transportes Aquaviários. **Relatório Técnico – Bacia do Paraguai**. UFSC/LabTrans – SC, 2013b.

ANTAQ - Agência nacional de Transportes Aquaviários. **Relatório Técnico – Bacia do São Francisco**. UFSC/LabTrans – SC, 2013c.

ANTAQ - Agência nacional de Transportes Aquaviários. **Relatório Técnico – Bacia do Sul**. UFSC/LabTrans – SC, 2013d.

ANTAQ - Agência nacional de Transportes Aquaviários. **Relatório Técnico – Bacia do Tocantins - Araguaia**. UFSC/LabTrans – SC, 2013e.

ASSIS, T. F. Análise de alternativas de transporte de commodities no Brasil: o caso da soja no Estado do Mato Grosso. Dissertação de mestrado. 156p. Curso de Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia - IME, Rio de Janeiro, 2015.

A TRIBUNA, Percas da produção de soja – carreta transportando soja. Disponível em: <http://www.tribunamt.com.br/wp-content/uploads/2014/05/Carreta-transportando-soja-Brasil-perde-no-transporte-de-soja-produzida-no-pais-26-10-12-1.jpg> Acesso em: Out 2017

BATALHA, M. O. (Coord.). **Gestão Agroindustrial**. Grupo de Estudos e Pesquisas Agroindustriais. São Paulo: Atlas. 3º ed. v1. 2011.

BAYKASOGLU, A; SUBULAN, K. A multi-objective sustainable load planning model for intermodal transportation networks with a real-life application, **Transportation Research Part E** Pages v. 95 p. 207-247, 2016.

BAZARAA, M. S; JARVIS, J. J; SHERALI, H. D. **Linear Programming and Network Flows**, 4ª.ed. John Wiley & Sons, Inc., 2010.

BEKTAS, T; CRAINIC T. G. A brief overview of intermodal transportation. In: Taylor GD (ed) **Logistics engineering handbook**. CRC Press, Boca Raton, 2008.

BRASIL – **Lei ambiental nº 10.233/01, de 5 de junho de 2001**. Brasília: [s.n], 2001.

BRASIL, CONAMA – **Resolução nº 18, de 6 de maio de 1986**. Brasília: [s.n], 1986.

BRASIL. ANTT, **Resolução nº 4194, de 19 de novembro de 2013**. Brasília: [s.n], 2013.

CADARSO, M; LÓPEZ, L. A; GOMÉZ, N; TOBARRA, M. CO<sub>2</sub> emissions of international freight transport and offshoring: Measurement and allocation **Ecological Economics** 69 p. 1682–1694, 2010.

CHARINA, M; DAHL, G. Subdivision schemes, network flows and linear optimization **Advances in computational mathematics** v.41 p.507- 528, 2015.

CHEN, K; YANG, Z; NOTTEBOOM, T. The design of coastal shipping services subject to carbon emission reduction targets and state subsidy levels **Transportation Research Part E** v.61 p.192-211, 2014.

CLIMATE TRANSPARENCY. **Brown to green: G20 Transition to a low Carbon Economy. Climate Change performance index**, 2016. Disponível em: <<http://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2016/08/Brazil-2016.pdf>> Acesso em: ago 2017.

CNT- Confederação Nacional do Transporte. **Entraves logísticos ao escoamento de soja e milho**, Brasília, 2015a.

CNT- Confederação Nacional do Transporte. **Sondagem CNT de eficiência energética no transporte rodoviário de cargas**, Brasília, 2015b.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de Rodovias 2017**, relatório gerencial – Brasília: CNT : SEST : SENAT, 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, **Estimativa do Escoamento das exportações de soja e milho pelos portos nacionais: Safra 2016/2017**. Compêndio de estudos CONAB v.6 ISSN:2448-3710, 2017a

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, **Séries históricas: Soja** Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina\\_objcmsconteudos=3#A\\_objcmsconteudos](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos)> Acesso em: Abril 2017b.

CORMEN, T. H; LEISERSON, C. E; RIVEST, R. L; STEIN, C. **Algoritmos teoria e prática** Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

COSTABILE, L. T. Estudo sobre as perdas de grãos na colheita e pós colheita. Tese de Doutorado, 157p. Universidade Paulista, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, São Paulo - SP, 2017.

CRAINIC, T. G. Service network design in freight transportation **European Journal of Operational Research** v.122 p. 272-288, 2000.

CRAIG, A. J; BLANCO, E. E; SHEFFI, Y. Estimating the CO2 intensity of intermodal freight transportation **Transportation Research Part D** 22 p. 49-53, 2013

CRISTEA, A; HUMMELS, D; PUZZELLO, L; AVETISYAN, M. Trade and the greenhouse gas emissions from international freight transport **Journal of Environmental Economics and Management** 65 p. 153-173, 2013.

DEMIR, E; BEKTAS, T; LAPORTE, G. A comparative analysis of several vehicle emission models for road freight transportation **Transportation Research Part D** v.16 p. 347-357, 2011.

DEKKER, ROMMERT; BLOEMHOF, JACQUELINE; MALLIDIS, IOANNIS. Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges, **European Journal of Operational Research**, v.219, n.3, p. 671-679, 2012.

DIAS, M. A. **Logística, Transporte e Infraestrutura**. São Paulo: Editora Atlas, 2012.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre. **Relatório dos Levantamentos Funcionais das Rodovias Federais**. Brasil, 2013.

ENG-LARSSON, F; LUNDQUIST, K; OLANDER, L; WANDEL, S. Explaining the cyclic behavior of freight transport CO<sub>2</sub>-emissions in Sweden over time **Transport Policy** 22 p.79-87, 2012

FREDERICO, S. Agronegócio e dinâmica territorial brasileira o início do século XXI **Estudios Territoriales** ISBN: 978-85-7506-232-6, pages 2134 – 2154. Setembro 2014

GERHARDT, T. E; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. UFRGS. – Porto Alegre - RS, 2009.

GOLDBARG, M. C., LUNA H. P. L. & GOLDBARG, E. F. G. **Programação Linear e Fluxos em Redes**. Elsevier / Campus 2015.

Google Maps. Acesso em: <<https://www.google.com.br/maps>> consulta em: mar 2017

IMEA – Instituto Matogrossense de Agropecuária. **Entendendo o Mercado da Soja**, Boletim informativo. Mato Grosso: IMEA,2015.

IMO – International Maritime Organization. **IMO– is the United Nations specialized agency with responsibility for the safety and security of shipping and the prevention of marine pollution by ships**. Disponível em: <<http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>> Acesso em Jun 2016

IPCC – International Panel on Climate Change **IPCC Factsheet: What is the IPCC?** (2013) Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/news\\_and\\_events/docs/factsheets/FS\\_what\\_ipcc.pdf](http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/factsheets/FS_what_ipcc.pdf)>, acesso em: Mai 2017.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Hidroviás no Brasil: perspectiva histórica, custos e institucionalidade**. Brasília: Rio de Janeiro: IPEA, 2014.

JEMAI, J; ZEKRI, M; MELLOULI, K. An NSGA-II Algorithm for the Green Vehicle Routing Problem EvoCOP 2012, **Lecture Notes in Computer Science**, v. 7245. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 37–48, 2012.

KENNINGTON J.L., HELGASON R.V Minimum Cost Network Flow Algorithms. In: Resende M.G.C., Pardalos P.M. (eds) **Handbook of Optimization in Telecommunications**. Springer, Boston, MA, 2006.

KIRSCHSTEIN, T; MEISEL, F. GHG-emission models for assessing the eco-friendliness of road and rail freight transports **Transportation Research Part B** v.73 p. 13-33, 2015

LAM, J. S. L; GU, Y. A market-oriented approach for intermodal network optimisation meeting cost,time and environmental requirements **International Journal of Production Economics** 171 p. 266-274, 2016.

LIOU, J. H. Building an effective system for carbon reduction management **Journal of Cleaner Production** p.1-9 2014.

MAGNANTI, T. L; WONG, R. T. Network Design and Transportation Planning: Models and Algorithms. **Transportation Science** v.18 n.1 p.1-55. 1984  
<http://dx.doi.org/10.1287/trsc.18.1.1>.

MARTINS, R. S; CAIXETA-FILHO, J. V. **Evolução histórica da gestão logística do transporte de cargas**. 1. ed. São Paulo:Atlas 2014.

MCKINNON A, PIECYK M. **Measuring and managing co2 emissions in european chemical transport**. Tech. rep., Logistics Research Centre, Heriot-Watt University, Edinburgh,UK. 2010.

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. Relatórios de Referência. Emissões de Gases de Efeito Estufa por Queima de Combustíveis: Abordagem Bottom-Up. 62p. Brasília, 2010.

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Secretaria de



Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Brasília, 2016.

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, **Principais ações e resultados do MDIC em 2015** Informações para a imprensa. Brasília – DF Dez. 2015

MESSER, P. Impacto do Plano Nacional de Logística e Transporte no consumo energético e nas emissões de gases de efeito estufa do setor de transporte de cargas no Brasil. Dissertação de mestrado, 159p. COPPE/UFRJ - Programa de Planejamento Energico, 2015.

MTPA - Ministério Dos Transportes, Portos e Aviação Civil. **Política Ambiental do Ministério dos Transportes** Brasília: 2015, Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/meioambiente/52-sistema-de-transportes/3183-pol%C3%ADtica-ambiental.html>> Acesso em: Jul 2016

MTPA - Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. **Corredores Logísticos Estratégicos** – Diagnóstico e Análise de Rotas de escoamento – Soja e Milho. Brasília, Fevereiro de 2017.

MINOUX, J. Multicommodity network flow models and algorithms in telecommunications. in: Resende M.G.C., Pardalos P.M. (eds) **Handbook of Optimization in Telecommunications**. Springer, Boston, MA 2006.

MORABITO, R; PUREZA, N in MIGUEL, P. A. C. (Org). **Metodologia de Pesquisa Produção E Gestão De Operações** - 2ª Ed. Elsevier – Campus: 2012

MORABITO, R; ARENALES, M; ARMENTANO, V; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional** 2º ed. Rio de janeiro: Elsevier, 2015.

MORADI, S. R; RAITH, A; ERGOTH M. Bi-objective column generation algorithm for the multicommodity minimum cost flow problem, **European Journal of Operational Research** Article in press. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.01.021>.

NOCERA, S; CARVALHO, F. Economic valuation of Well-To-Wheel CO2 emissions from freight transport along the main transalpine corridors **Transportation Research Part D** v.47 p.222-236, 2016.

OECD/FAO, “Oilseeds and Oilseed Products”, in **OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026**, OECD Publishing, Paris 2017.

OECD Proceedings, **Towards Sustainable Transportation**, The Vancouver Conference. Vancouver, 1997 Disponível em: <http://www.oecd.org/greengrowth/greening-transport/2396815.pdf>

PAN, S; BALLOT, E; FONTANE, F. The reduction of green house gas emissions from freight transport by pooling supply chains **International Journal of. Production Economics** v.143 p. 86-94, 2013.

PARK, D., Kim, N. S; Park, H; Kim K. Estimating trade-off among logistics cost, CO2 and time: A case study of container transportation systems in Korea, **International Journal of Urban Sciences**, v.16, n.1, pages 85-98, 2012. DOI:10.1080/12265934.2012.668322

PINHEIRO, M. A. Estimativa da redução de emissões gases de efeito estufa através da intermodalidade no setor sucroenergético: uma aplicação de programação linear. Tese de doutorado, 200p. ESALQ/ USP - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2012.

PNLT – Plano Nacional de Logística e Transportes. Base de dados Georreferenciados PNL T 2010. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/conteudo/2822-base-de-dados-georreferenciados-pnlt-2010.html>>. Acesso em mai de 2016.

QU, Y; BEKTAS, T; BENNELL, J. Sustainability SI: Multimode Multicommodity Network Design Model for Intermodal Freight Transportation with Transfer and Emission Costs **Networks and Spatial Economics** v.16 n.1 p.303-329, 2016.

REISI, M., AYE, L., RAJABIFARD, A., NGO, T. Land-use planning: Implications for transport sustainability **Land and Use Policy**, v.50, p. 252 – 261, 2016

ROBERTSON, S. The potential mitigation of CO2 emissions via modal substitution of high-speed rail for short-haul air travel from a life cycle perspective – An Australian case study **Transportation Research Part D** v.46 p. 365-380, 2016.

RUDI, A; FROHLING, M; ZIMMER, K; SCHULTMANN, F. Freight transportation planning considering carbon emissions and in-transit holding costs: a capacitated multi-commodity network flow model **EURO Journal on Transportation and Logistics** v.5 p.123-160, 2016.

SCHALCH, E. J. Os gargalos das principais rotas de escoamento de soja do estado do Mato Grosso: um estudo de caso do complexo portuário de Mirituba-Barcarena no Pará.

Dissertação de mestrado, 71p. USP - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, 2016

SECEX, Secretaria de Comércio Exterior. **Dados Estatísticos sobre a exportação de soja no período de 2011 a 2016** Brasília: Secex, 2017 Disponível em: <<http://www.aliceweb.desenvolvimento.org.br>> Acesso em: jun 2017.

SIFRECA (Information System for freights), **Valor de frete rodoviário para Soja 2017**. Acesso em mai. 2017, disponível em: <<http://sifreca.esalq.usp.br/sifreca/pt/index.php>>.

SILVA, R. J. M. Metodologia de avaliação de emissões de dióxido de carbono no transporte intermodal: Um estudo de caso da soja de exportação brasileira. Dissertação de mestrado, 176p. USP – Departamento de Engenharia de Transportes, 2015

SYS, C; VANELSLANDER, T; ADRIAENSSENS, M; RILLAER, I. V. International emission regulation in sea transport: Economic feasibility and impact, **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v.45, p.139-151, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2015.06.009>

SUN, L; LANG, M. Modeling the Multicommodity Multimodal Routing Problem with Schedule-Based Services and Carbon Dioxide Emission Costs **Mathematical Problems in Engineering**. 2015.

TIAN, Y; ZHU, Q; LAI, K; LUN, Y. H. V. Analysis of greenhouse gas emissions of freight transport sector in China **Journal of Transport Geography** v.40 p. 43-52, 2014.

TO, W.M. Greenhouse gases emissions from the logistics sector: the case of Hong Kong, China, **Journal of Cleaner Production**, v.103, n.15, p.658-664, 2015

USDA - United States Department of Agriculture, Soybean Transportation Guide: Brazil 2015. **Agricultural Marketing Service**, June, 2016.

WINEBREAK, J; CORBETT, J; FALARZANO, A; HAWKER, J. S; KORFMACHER, K; KETHA, S; ZILORA, S. Assessing energy, environmental, and economic tradeoffs in intermodal freight transportation **Journal of Air & Waste Management Association**, 2008.

WORLD BANK; ECOFYS AND VIVID ECONOMICS. **State and Trends of Carbon Pricing** Washington, DC: October, 2016.

ZHU, W; ERIKSTAD, S. O; NOWARK, M. P. Emission allocation problems in the maritime logistics chain **EURO Journal on Transportation and Logistics** v.2 p.35-54, 2014.

ZITO, P., SALVO, G. Toward an urban transport sustainability index: an European comparison **European Transport Research Review** Volume 3, Issue 4, Pages 179-195, 2011

### APÊNDICE A - Total Exportado por Município (kg) – Média de 6 anos

Município	Kg	Município	kg
Cruz Alta-RS	736.160.096	Rio Verde-GO	518.291.878
Passo Fundo-RS	705.826.483	Luziania-GO	464.539.807
Canoas-RS	137.916.667	Silvania-GO	96.034.892
Santa Rosa-RS	60.970.032	Itumbiara-GO	92.513.518
Ibiruba-RS	32.703.011	Bom Jesus De Goiás-GO	85.873.759
Julio De Castilhos-RS	22.258.333	Catalao-GO	78.775.447
Tupancireta-RS	19.005.549	Sao Simao-GO	66.190.241
Cachoeira Do Sul-RS	14.250.000	Quirinopolis-GO	52.344.263
Joia-RS	10.113.887	Castelândia-GO	49.178.945
Tuparendi-RS	9.911.283	Goiatuba-GO	45.447.849
Paranagua-PR	3.758.741.866	Sao Paulo-SP	2.720.506.355
Maringa-PR	2.303.382.303	Santos-SP	1.451.253.846
Londrina-PR	669.657.514	Guaruja-SP	831.763.012
Ponta Grossa-PR	471.153.039	Araraquara-SP	293.274.797
Curitiba-PR	146.300.783	Pederneiras-SP	167.839.712
Bela Vista Do Paraiso-PR	129.429.190	Guaira-SP	130.518.860
Marialva-PR	125.152.653	Leme-SP	117.471.835
Cascavel-PR	120.849.695	Orindiuva-SP	113.321.716
Sertanopolis-PR	103.394.350	Sertaozinho-SP	108.882.564
Araucaria-PR	92.088.102	Pontes Gestal-SP	56.825.638
Chapadao Do Sul-MS	228.901.102	Orlandia-SP	56.659.973
Dourados-MS	197.536.248	Uberlandia-MG	254.513.659
Maracaju-MS	178.287.688	Araguari-MG	160.245.412
Caarapo-MS	100.067.856	Unai-MG	90.966.211
Sao Gabriel Do Oeste-MS	85.723.184	Santa Juliana-MG	84.198.883
Campo Grande-MS	26.635.324	Pirapora-MG	74.702.926
Sonora-MS	17.404.984	Buritis-MG	72.100.690
Ponta Pora-MS	15.504.221	Patrocinio-MG	56.107.601
Navirai-MS	11.459.792	Varginha-MG	42.044.388
Rio Brilhante-MS	10.511.242	Piumhi-MG	36.328.269
Sorriso-MT	1.603.367.072	Nova Ponte-MG	28.886.095
Sapezal-MT	631.250.647	Luis Eduardo Magalhaes-BA	987.800.734
Querencia-MT	627.380.989	Porto Franco-MA	331.106.809

(Continua)

<b>Município</b>	<b>Kg</b>	<b>Município</b>	<b>kg</b>
Nova Mutum-MT	625.295.944	Correntina-BA	295.474.661
Campo Novo Do Parecis-MT	602.712.714	Campos Lindos-TO	285.006.418
Primavera Do Leste-MT	591.441.423	Barreiras-BA	202.869.125
Sinop-MT	563.618.121	Guarai-TO	193.573.824
Cuiabá-MT	507.633.101	Tasso Fragoso-MA	153.988.450
Lucas Do Rio Verde-MT	505.146.081	Pedro Afonso-TO	147.477.605
Diamantino-MT	393.910.093	Sao Desiderio-BA	144.795.301

## APÊNDICE B – Matrizes origem/destino analisadas

Matriz de distâncias (km)

Origem / Destino	Rota	Alternativa	Distância (km)			
			Rodoviário	Ferroviário	Hidroviário	Total
Tupanciretã /Porto Rio Grande	TUP-EST-PRG	A1	330		373	703
	TUP-PRG	A2	482			482
	TUP-PRG	A3		820		820
	TUP-STM-PRG	A4	127	773		900
	TUP-POA-PRG	A5	436		231	667
	TUP-CAR-EST-PRG	A6	183	139	373	695
Cruz Alta / Porto Rio Grande	CRA-PRG	B1		887		887
	CRA-STM-PRG	B2	353	114		467
	CRA-STM-PRG	B3	773	133		906
	CRA-PRG	B4	488			488
	CRA-POA-PRG	B5	352		231	583
	CRA-EST-PRG	B6	246		373	619
Londrina / Paranaguá/ Santos	LON-PNG-PAR	C1	276	225		501
	LON-PED-SNT	C2	340	277		617
	LON-GUA-PAR	C3	320	263		583
	LON-PAR	C4	489			489
	LON-PAR	C5		609		609
Mamborê / Paranaguá	MAM-PAR	D1	589			589
	MAM-CSC - PAR	D2	145	606		751
	MAM-GUA-PAR	D3	240	263		503
	MAM - MAR - PAR	D4	138	613		751
	MAM - PNG - PAR	D5	425	225		650
	MAM - MAR - PNG - PAR	D6	353	388		741
Assis C. / Paranaguá	ASS-CSC-PAR	E1	84,7	606		690,7
	ASS-GUA-PAR	E2	327	263		590
	ASS-PNG-PAR	E3	499	225		724
	ASS-PAR	E4	678			678
Chopinzinho / Paranaguá	CHO-GUA-PAR	F1	150	263		413
	CHO-PAR	F2	502			502
	CHO-PNG-PAR	F3	310	225		535
Cornélio P. / Paranaguá / Santos	COR-APU-PAR	G1	119	406		525
	COR-PED-SNT	G2	246	277		523
	COR-SNT	G3	554			554
	COR-PAR	G4	494			494
	COR-PNG-PAR	G5	280	225		505
Castro / Paranaguá	CST-PAR	H1	258			258
	CST- PNG-PAR	H2	42,6	225		267,6

(Continua)

		Alternativas	Rodoviário	Ferrovário	Hidroviário	Total
Uberlândia / Santos	UBR-SNT	I1		1080		1080
	UBR-SNT	I2	669			669
	UBR-SSM-ANH-SNT	I3	682		768	1450
	UBR-PED-SNT	I4	462	277		739
Guaira / Santos	GIR-SJR-SNT	J1	128	568		696
	GIR-SNT	J2	545			545
	GIR-SJB-SNT	J3	68,3	549,9		618,2
Rio Verde / Santos	RVD-ANP-SLS	K1	295	2055		2350
	RVD-SNT	K2	977			977
	RVD-SRT-SNT	K3	281	924,12		1205,12
Cristalina / Santos / São Luís	CRT-ANP-SLS	L1	230	2055		2285
	CRT-SNT	L2	966			966
	CRT-UBR-SNT	L3	291	1080		1371
	CRT-SSM-ANH-SNT	L4	614		768	1382
Chapadão do Sul / Santos / São Luís	CHS-SSM-ANH-SNT	M1	329	860		1189
	CHS-ANP-SLS	M2	699	2055		2754
	CHS-TLG-SNT	M3	329	860		1189
	CHS-SNT	M4		1044		1044
	CHS-SNT	M5	975			975
Maracajú / Santos/Paranaguá	MJC-CSC-PAR	N1	507	606		1113
	MJC-SNT	N2	1096			1096
	MJC-PAR	N3		1042		1042
	MJC-TLG-SNT	N4	491	860,6		1351,6
	MJC-MAR-PAR	N5	523	613		1136
São Gabriel do Oeste/ Santos / Paranaguá	SGO-RND-SNT	O1	356	1340		1696
	SGO-TLG-SNT	O2	456	860		1316
	SGO-ATG-SNT	O3	368	924		1292
	SGO-SNT	O4	1206			1206
	SGO-MAR-PAR	O5	698	613		1311
Primavera do Leste / Paranaguá / Santos	PML-RND-PAR	P1	129	1660		1789
	PML-ANP-SLS	P2	679	2055		2734
	PML-SSM-ANH-SNT	P3	828		768	1596
	PML-SNT	P4	1520			1520
	PML-UBR-SNT	P5	1070	1080		2150
Sorriso/Santos/Barcarena/Paranaguá	SRS-ITB-BAR	Q1	1081		363	1444
	SRS-RND-SNT	Q2	665	1340		2005
	SRS-RND-PAR	Q3	507	1660		2167
	SRS-PTV-BAR	Q4	1445	2347		3792
Canarana/Barcarena/ São Luís	CNR-BAR	R1	1695			1695
	CNR-PTN-SLS	R2	810	1160		1970
Balsas/ São Luís	BLS-PFC-SLS	S1	296	723		1019
	BLS-SLS	S2	799			799
Campos Lindos / São Luís	CMP-PFC-SLS	T1	352	723		1075
	CMP-SLS	T2	907			907

(Continua)



			Alternativa	Ferrovário	Hidroviário	Total
Bom Jesus / São Luís	BMJ-SLS		U1	950		950
São Denário/São Luís	SDD-SLS		V1	1443		1443
Paragominas / Barcarena	PGM-BAR		X1	273		273

Matriz de Custo por tonelada para alternativas analisadas

Origem /Destino	Rota	Alternativa	Custo			
			Rodoviário	Ferrovário	Hidroviário	Total
Tupanciretã /Porto Rio Grande	TUP-EST-PRG	A1	78,8		15,6	94,4
	TUP-PRG	A2	98			98
	TUP-PRG	A3		99,27		99,27
	TUP-STM-PRG	A4	54,16	94,8		148,96
	TUP-POA-PRG	A5	90,5		9,7	100,2
	TUP-CAR-EST-PRG	A6	68,19	31,65	15,6	115,44
Cruz Alta / Porto Rio Grande	CRA-PRG	B1		103		103
	CRA-STM-PRG	B2	80,9	59,27		140,17
	CRA-STM-PRG	B3	52,51	94,8		147,31
	CRA-PRG	B4	96,72			96,72
	CRA-POA-PRG	B5	80,62		9,7	90,32
	CRA-EST-PRG	B6	68,19		15,6	83,79
Londrina / Paranaguá/ Santos	LON-PNG-PAR	C1	71,72	40,75		112,47
	LON-PED-SNT	C2	79,9	46,25		126,15
	LON-GUA-PAR	C3	76,9	44,77		121,67
	LON-PAR	C4	120			120
	LON-PAR	C5		79,19		79,19
Mamborê / Paranaguá	MAM-PAR	D1	103,7			103,7
	MAM-CSC - PAR	D2	56,28	78,89		135,17
	MAM-GUA-PAR	D3	67,48	44,77		112,25
	MAM - MAR - PAR	D4	55,45	79,5		134,95
	MAM - PNG - PAR	D5	89,29	40,75		130,04
	MAM - MAR - PNG -PAR	D6	80,8	58		138,8
Assis C. / Paranaguá	ASS-CSC-PAR	E1	49,27	78,89		128,16
	ASS-GUA-PAR	E2	77,47	44,77		122,24
	ASS-PNG-PAR	E3	98,92	40,75		139,67
	ASS-PAR	E4	112			112
Chopinzinho / Paranaguá	CHO-GUA-PAR	F1	56,8	44,77		101,57
	CHO-PAR	F2	98,37			98,37
	CHO-PNG-PAR	F3	75,31	40,75		116,06
Cornélio P. / Paranaguá / Santos	COR-APU-PAR	G1	53,21	87,05		140,26
	COR-PED-SNT	G2	68,2	46,25		114,45
	COR-SNT	G3	104,5			104,5
	COR-PAR	G4	97,43			97,43

(Continua)

	<b>Alternativa</b>		<b>Rodoviário</b>	<b>Ferrovário</b>	<b>Hidroviário</b>	<b>Total</b>
Cornélio P. / Paranaguá / Santos	COR-PNG-PAR	G5	72,2	40,75		112,95
Castro / Paranaguá	CST-PAR	H1	69,9			69,9
	CST- PNG-PAR	H2	72,2	40,75		112,95
Uberlândia / Santos	UBR-SNT	I1		118,5		118,5
	UBR-SNT	I2	118			118
	UBR-SSM-ANH-SNT	I3	158,7		32,5	191,2
	UBR-PED-SNT	I4	93,65	46,25		139,9
Guaíra / Santos	GIR-SJR-SNT	J1	54,28	75,27		129,55
	GIR-SNT	J2	103,44			103,44
	GIR-SJB-SNT	J3	47,25	73,46		120,71
Rio Verde / Santos	RVD-ANP-SLS	K1	73,9	395		468,9
	RVD-SNT	K2	154,3			154,3
	RVD-SRT-SNT	K3	72,31	106,5		178,81
Cristalina / Santos / São Luís	CRT-ANP-SLS	L1	66,3	395		461,3
	CRT-SNT	L2	153,03			153,03
	CRT-UBR-SNT	L3	73,49	118,05		191,54
	CRT-SSM-ANH-SNT	L4	150,73		32,25	182,98
Chapadão do Sul / Santos / São Luís	CHS-SSM-ANH-SNT	M1	77,9	98,85		176,75
	CHS-ANP-SLS	M2	121,6	395		516,6
	CHS-TLG-SNT	M3	77,9	98,85		176,75
	CHS-SNT	M4		115,4		115,4
	CHS-SNT	M5	154,14			154,14
Maracajú / Santos/Paranaguá	MJC-CSC-PAR	N1	98,96	78,89		177,85
	MJC-SNT	N2	168,4			168,4
	MJC-PAR	N3		171,4		171,4
	MJC-TLG-SNT	N4	97	101,6		198,6
	MJC-MAR-PAR	N5	100,85	79,56		180,41
São Gabriel do Oeste/ Santos / Paranaguá	SGO-RND-SNT	O1	81,16	137,2		218,36
	SGO-TLG-SNT	O2	92,9	101,6		194,5
	SGO-ATG-SNT	O3	82,57	106,2		188,77
	SGO-SNT	O4	181			181
	SGO-MAR-PAR	O5	121,4	79,56		200,96
Primavera do Leste / Paranaguá / Santos	PML-RND-PAR	P1	54,39	187,92		242,31
	PML-ANP-SLS	P2	119,24	395		514,24
	PML-SSM-ANH-SNT	P3	176		32,35	208,35
	PML-SNT	P4	218,39			218,39
	PML-UBR-SNT	P5	165,3	118,05		283,35
Sorriso/Santos/Barc arena/Paranaguá	SRS-ITB-BAR	Q1	210		45,4	255,4
	SRS-RND-SNT	Q2	118,67	137,26		255,93
	SRS-RND-PAR	Q3	98,96	187,92		286,88
	SRS-PTV-BAR	Q4	209,55		98,57	308,12

(Continua)

Alternativa			Rodoviário	Ferroviário	Hidroviário	Total
Canarana/Barcarena/ São Luís	CNR-BAR	R1	239			239
	CNR-PTN-SLS	R2	134,68	123,96		258,64
Balsas/ São Luís	BLS-PFC-SLS	S1	74,08	90		164,08
	BLS-SLS	S2	129,5			129,5
Campos Lindos / São Luís	CMP-PFC-SLS	T1	80,68	90		170,68
	CMP-SLS	T2	146			146
Bom Jesus / São Luís	BMJ-SLS	U1	151,2			151,2
São Denário/São Luís	SDD-SLS	V1	209,31			209,31
Paragominas / Barcarena	PGM-BAR	X1	67,13			67,13

Matriz de custos de emissões (CO<sub>2</sub>R\$/t) por alternativa

Origem /Destino	Rota	Alternativa	Emissão			
			Rodoviário	Ferroviário	Hidroviário	Total
Tupanciretã /Porto Rio Grande	TUP-EST-PRG	A1	1,55906685	0	0,469924796	2,028992
	TUP-PRG	A2	2,27718249	0	0	2,277182
	TUP-PRG	A3	0	2,399325141	0	2,399325
	TUP-STM-PRG	A4	0,600004515	2,261802847	0	2,861807
	TUP-POA-PRG	A5	2,05985802	0	0,291025812	2,350884
	TUP-CAR-EST- PRG	A6	0,864573435	0,406714872	0,469924796	1,741213
Cruz Alta / Porto Rio Grande	CRA-PRG	B1	0	2,595367561	0	2,595368
	CRA-STM-PRG	B2	1,667729085	0,333564715	0	2,001294
	CRA-STM-PRG	B3	3,651995985	0,389158834	0	4,041155
	CRA-PRG	B4	2,30552916	0	0	2,305529
	CRA-POA-PRG	B5	1,66300464	0	0,291025812	1,95403
	CRA-EST-PRG	B6	1,16221347	0	0,469924796	1,632138
Londrina / Paranaguá/ Santos	LON-PNG-PAR	C1	1,30394682	0,658351411	0	1,962298
	LON-PED-SNT	C2	1,6063113	0,810503737	0	2,416815
	LON-GUA-PAR	C3	1,5118224	0,769539649	0	2,281362
	LON-PAR	C4	2,310253605	0	0	2,310254
	LON-PAR	C5	0	1,781937818	0	1,781938
Mamborê / Paranaguá	MAM-PAR	D1	2,782698105	0	0	2,782698
	MAM-CSC - PAR	D2	0,685044525	1,7731598	0	2,458204
	MAM-GUA-PAR	D3	1,1338668	0,769539649	0	1,903406
	MAM - MAR - PAR	D4	0,65197341	1,793641844	0	2,445615
	MAM - PNG - PAR	D5	2,007889125	0,658351411	0	2,666241
	MAM - MAR - PNG -PAR	D6	1,667729085	1,135290433	0	2,80302
Assis C. / Paranaguá	ASS-CSC-PAR	E1	0,400160492	1,7731598	0	2,17332
	ASS-GUA-PAR	E2	1,544893515	0,769539649	0	2,314433
	ASS-PNG-PAR	E3	2,357498055	0,658351411	0	3,015849
	ASS-PAR	E4	3,20317371	0	0	3,203174

(Continua)

Alternativa			Rodoviário	Ferroviário	Hidroviário	Total
Chopinzinho / Paranaguá	CHO-GUA-PAR	F1	0,70866675	0,769539649	0	1,478206
	CHO-PAR	F2	2,37167139	0	0	2,371671
	CHO-PNG-PAR	F3	1,46457795	0,658351411	0	2,122929
Cornélio P. / Paranaguá / Santos	COR-APU-PAR	G1	0,562208955	1,187958546	0	1,750168
	COR-PED-SNT	G2	1,16221347	0,810503737	0	1,972717
	COR-SNT	G3	2,61734253	0	0	2,617343
	COR-PAR	G4	2,33387583	0	0	2,333876
	COR-PNG-PAR	G5	1,3228446	0,658351411	0	1,981196
Castro / Paranaguá	CST-PAR	H1	1,21890681	0	0	1,218907
	CST- PNG-PAR	H2	0,201261357	0,658351411	0	0,859613
Uberlândia / Santos	UBR-SNT	I1	0	3,160086772	0	3,160087
	UBR-SNT	I2	3,160653705	0	0	3,160654
	UBR-SSM-ANH-SNT	I3	3,22207149	0	0,967566336	4,189638
	UBR-PED-SNT	I4	2,18269359	0,810503737	0	2,993197
Guaira / Santos	GIR-SJR-SNT	J1	0,60472896	1,661971561	0	2,266701
	GIR-SNT	J2	2,574822525	0	0	2,574823
	GIR-SJB-SNT	J3	0,322679594	1,609010848	0	1,93169
Rio Verde / Santos	RVD-ANP-SLS	K1	1,393711275	6,012942885	0	7,406654
	RVD-SNT	K2	4,615782765	0	0	4,615783
	RVD-SRT-SNT	K3	1,327569045	2,703980914	0	4,03155
Cristalina / Santos / São Luís	CRT-ANP-SLS	L1	1,08662235	6,012942885	0	7,099565
	CRT-SNT	L2	4,56381387	0	0	4,563814
	CRT-UBR-SNT	L3	1,374813495	3,160086772	0	4,5349
	CRT-SSM-ANH-SNT	L4	2,90080923	0	0,967566336	3,868376
Chapadão do Sul / Santos / São Luís	CHS-SSM-ANH-SNT	M1	1,554342405	2,516365392	0	4,070708
	CHS-ANP-SLS	M2	3,302387055	6,012942885	0	9,31533
	CHS-TLG-SNT	M3	1,554342405	2,516365392	0	4,070708
	CHS-SNT	M4	0	3,054750546	0	3,054751
	CHS-SNT	M5	4,606333875	0	0	4,606334
Maracajú / Santos/Paranaguá	MJC-CSC-PAR	N1	2,395293615	1,7731598	0	4,168453
	MJC-SNT	N2	5,17799172	0	0	5,177992
	MJC-PAR	N3	0	3,048898533	0	3,048899
	MJC-TLG-SNT	N4	2,319702495	2,518120996	0	4,837823
	MJC-MAR-PAR	N5	2,470884735	1,793641844	0	4,264527
São Gabriel do Oeste/ Santos / Paranaguá	SGO-RND-SNT	O1	1,68190242	3,920848402	0	5,602751
	SGO-TLG-SNT	O2	2,15434692	2,516365392	0	4,670712
	SGO-ATG-SNT	O3	1,73859576	2,703629793	0	4,442226
	SGO-SNT	O4	5,69768067	0	0	5,697681
	SGO-MAR-PAR	O5	3,29766261	1,793641844	0	5,091304
Primavera do Leste / Paranaguá / Santos	PML-RND-PAR	P1	0,609453405	4,857170408	0	5,466624
	PML-ANP-SLS	P2	3,207898155	6,012942885	0	9,220841

(continua)

	Alternativa		Rodoviário	Ferrovário	Hidroviário	Total
Primavera do Leste /	PML-SSM-ANH-SNT	P3	3,91184046	0	0,967566336	4,879407
Paranaguá / Santos	PML-SNT	P4	7,1811564	0	0	7,181156
	PML-UBR-SNT	P5	5,05515615	3,160086772	0	8,215243
Sorriso/Santos/Barcarena/Paranaguá	SRS-ITB-BAR	Q1	5,107125045	0	0,457326276	5,564451
	SRS-RND-SNT	Q2	3,141755925	3,920848402	0	7,062604
	SRS-RND-PAR	Q3	2,395293615	4,857170408	0	7,252464
	SRS-PTV-BAR	Q4	6,826823025	6,867336716	0	13,69416
Canarana/Barcarena/São Luís	CNR-BAR	R1	8,007934275	0	0	8,007934
	CNR-PTN-SLS	R2	3,82680045	3,394167273	0	7,220968
Balsas/ São Luís	BLS-PFC-SLS	S1	1,39843572	2,115502533	0	3,513938
	BLS-SLS	S2	3,774831555	0	0	3,774832
Campos Lindos / São Luís	CMP-PFC-SLS	T1	1,66300464	2,115502533	0	3,778507
	CMP-SLS	T2	4,285071615	0	0	4,285072
Bom Jesus / São Luís	BMJ-SLS	U1	4,48822275	0	0	4,488223
São Denário/São Luís	SDD-SLS	V1	6,817374135	0	0	6,817374
Paragominas / Barcarena	PGM-BAR	X1	1,289773485	0	0	1,289773

## Custos de Transbordo por Alternativa

Origem /Destino	Rota	Alternativa	Transbordo	Indicadores de Custos Totais (R\$/t)
Tupanciretã /Porto Rio Grande	TUP-EST-PRG	A1	2,8	99,22899
	TUP-PRG	A2	0	100,2772
	TUP-PRG	A3	0	101,6693
	TUP-STM-PRG	A4	2,8	154,6218
	TUP-POA-PRG	A5	2,8	105,3509
	TUP-CAR-EST-PRG	A6	5,6	122,7812
Cruz Alta / Porto Rio Grande	CRA-PRG	B1	0	105,5954
	CRA-STM-PRG	B2	2,8	144,9713
	CRA-STM-PRG	B3	2,8	154,1512
	CRA-PRG	B4	0	99,02553
	CRA-POA-PRG	B5	2,8	95,07403
	CRA-EST-PRG	B6	2,8	88,22214
Londrina / Paranaguá/ Santos	LON-PNG-PAR	C1	2,8	117,2323
	LON-PED-SNT	C2	2,8	131,3668
	LON-GUA-PAR	C3	2,8	126,7514
	LON-PAR	C4	0	122,3103
	LON-PAR	C5	0	80,97194

(Continua)

Origem /Destino	Rota	Alternativa	Transbordo	Indicadores de Custos Totais (R\$/t)
Mamborê / Paranaguá	MAM-PAR	D1	0	106,4827
	MAM-CSC - PAR	D2	2,8	140,4282
	MAM-GUA-PAR	D3	2,8	116,9534
	MAM - MAR - PAR	D4	2,8	140,1956
	MAM - PNG - PAR	D5	2,8	135,5062
	MAM - MAR - PNG -PAR	D6	5,6	147,203
Assis C. / Paranaguá	ASS-CSC-PAR	E1	2,8	133,1333
	ASS-GUA-PAR	E2	2,8	127,3544
	ASS-PNG-PAR	E3	2,8	145,4858
	ASS-PAR	E4	0	115,2032
Chopinzinho / Paranaguá	CHO-GUA-PAR	F1	2,8	105,8482
	CHO-PAR	F2	0	100,7417
	CHO-PNG-PAR	F3	2,8	120,9829
Cornélio P. / Paranaguá / Santos	COR-APU-PAR	G1	2,8	144,8102
	COR-PED-SNT	G2	2,8	119,2227
	COR-SNT	G3	0	107,1173
	COR-PAR	G4	0	99,76388
	COR-PNG-PAR	G5	2,8	117,7312
Castro / Paranaguá	CST-PAR	H1	0	71,11891
	CST- PNG-PAR	H2	2,8	116,6096
Uberlândia / Santos	UBR-SNT	I1	0	121,6601
	UBR-SNT	I2	0	121,1607
	UBR-SSM-ANH-SNT	I3	5,6	200,9896
	UBR-PED-SNT	I4	2,8	145,6932
Guaíra / Santos	GIR-SJR-SNT	J1	2,8	134,6167
	GIR-SNT	J2	0	106,0148
	GIR-SJB-SNT	J3	2,8	125,4417
Rio Verde / Santos	RVD-ANP-SLS	K1	2,8	479,1067
	RVD-SNT	K2	0	158,9158
	RVD-SRT-SNT	K3	2,8	185,6415
Cristalina / Santos / São Luís	CRT-ANP-SLS	L1	2,8	471,1996
	CRT-SNT	L2	0	157,5938
	CRT-UBR-SNT	L3	2,8	198,8749
	CRT-SSM-ANH-SNT	L4	5,6	192,4484
Chapadão do Sul / Santos / São Luís	CHS-SSM-ANH-SNT	M1	5,6	186,4207
	CHS-ANP-SLS	M2	2,8	528,7153
	CHS-TLG-SNT	M3	2,8	183,6207
	CHS-SNT	M4	0	118,4548
	CHS-SNT	M5	0	158,7463
Maracajú / Santos/Paranaguá	MJC-CSC-PAR	N1	2,8	184,8185
	MJC-SNT	N2	0	173,578

(Continua)

Origem /Destino	Rota	Alternativa	Transbordo	Indicadores de Custos Totais (R\$/t)
Maracajú / Santos/Paranaguá	MJC-PAR	N3	0	174,4489
	MJC-TLG-SNT	N4	2,8	206,2378
	MJC-MAR-PAR	N5	2,8	187,4745
São Gabriel do Oeste/ Santos / Paranaguá	SGO-RND-SNT	O1	2,8	226,7628
	SGO-TLG-SNT	O2	2,8	201,9707
	SGO-ATG-SNT	O3	2,8	196,0122
	SGO-SNT	O4	0	186,6977
	SGO-MAR-PAR	O5	2,8	208,8513
Primavera do Leste / Paranaguá / Santos	PML-RND-PAR	P1	2,8	250,5766
	PML-ANP-SLS	P2	2,8	526,2608
	PML-SSM-ANH-SNT	P3	5,6	218,8294
	PML-SNT	P4	0	225,5712
	PML-UBR-SNT	P5	2,8	294,3652
Sorriso/Santos/Barcarena/Paranaguá	SRS-ITB-BAR	Q1	2,8	263,7645
	SRS-RND-SNT	Q2	2,8	265,7926
	SRS-RND-PAR	Q3	2,8	296,9325
	SRS-PTV-BAR	Q4	2,8	324,6142
Canarana/Barcarena/São Luís	CNR-BAR	R1	0	249,8079
	CNR-PTN-SLS	R2	2,8	268,661
	CNR-PFC-SLS	R3	2,8	305,34
Balsas/ São Luís	BLS-PFC-SLS	S1	2,8	170,3939
	BLS-SLS	S2	0	133,2748
Campos Lindos / São Luís	CMP-PFC-SLS	T1	2,8	177,2585
	CMP-SLS	T2	0	150,2851
Bom Jesus / São Luís	BMJ-SLS	U1	0	155,6882
São Denário/São Luís	SDD-SLS	V1	0	216,1274
Paragominas / Barcarena	PGM-BAR	X1	0	68,41977