



MODELAGEM MATEMÁTICA PARA LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO DE  
CENTROS DE INTEGRAÇÃO LOGÍSTICA CONSIDERANDO AS DEMANDAS  
PAR-A-PAR

Vanessa de Almeida Guimarães

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Glaydston Mattos Ribeiro

Rio de Janeiro

Março de 2015

MODELAGEM MATEMÁTICA PARA LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO DE  
CENTROS DE INTEGRAÇÃO LOGÍSTICA CONSIDERANDO AS DEMANDAS  
PAR-A-PAR

Vanessa de Almeida Guimarães

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA  
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

---

Prof. Glaydston Mattos Ribeiro, D.Sc.

---

Prof. Carlos David Nassi, Dr. Ing.

---

Prof. Abílio Pereira de Lucena Filho, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2015

Guimarães, Vanessa de Almeida

Modelagem matemática para localização-alocação de centros de integração logística considerando as demandas par-a-par/ Vanessa de Almeida Guimarães. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

XIII, 113 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Glaydston Mattos Ribeiro

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 100-113.

1. Planejamento de transporte. 2. Otimização. 3. Centro de integração logística. I. Ribeiro, Glaydston Mattos. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

*Dedico este trabalho aos meus pais, que com todo o carinho e dedicação tornaram possível a realização deste e de muitos outros sonhos; ao meu irmão, pelo companheirismo; e, ao vô Benedito cujo sorriso radiante me faz muita falta.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas bênçãos concedidas, pela força e coragem nos momentos de dificuldade e por todas as vitórias.

Aos meus pais, por todo carinho e dedicação, pela força nos momentos difíceis e pela celebração de cada conquista. Por terem feito o possível (e impossível) para que eu chegasse até aqui. Pelo esforço para sempre me proporcionarem uma educação de qualidade e, principalmente, por me ensinarem que o maior tesouro que alguém pode ter é o conhecimento.

Ao meu irmão Hugo, pelo carinho e parceria de sempre.

Ao vô Benedito, que com seu sorriso farto e alegria de viver, sempre torceu pela minha felicidade e que me faz muita falta em todas as manhãs de domingo.

Aos professores e colegas da UFF: Pauli Garcia, Murilo Alvarenga, Gustavo Motta, Pítias Teodoro e Marcio Abdalla pelo incentivo desde a graduação, que se reflete em nossas publicações. Agradecimento à Ana Paula Todaro que me trouxe à vida acadêmica ainda no segundo período de graduação e, especialmente, ao Cristiano Monteiro que sempre me incentivou a seguir a carreira acadêmica e acreditou no meu potencial, com quem aprendi muito nos anos de iniciação científica e orientação de TCC.

Ao Ilton Curty por todo apoio e incentivo, por estar sempre presente, acreditar no meu potencial e confiar a mim projetos importantes.

Aos professores Rômulo Dante, Hostílio Ratton e Glaydston Ribeiro pelo convite e oportunidade de atuar no projeto CIL, que fomentou o desenvolvimento deste trabalho, trazendo muito aprendizado e experiência prática. Especialmente ao professor Glaydston pela orientação e pela dedicação à pesquisa.

À equipe CIL - Gisele, Marcus, Natalia, Israella e Mariam - pelos momentos de aprendizado e descontração, por toda sinergia de perfis tão diferentes e complementares. Agradecimento especial à Beatriz Costa e Saul Quadros com quem aprendi bastante sobre a dinâmica de um projeto envolvendo planejamento governamental.

Ao Vinícius Forte por toda dedicação nas manhãs de segunda-feira e pelas contribuições fundamentais para o desenvolvimento este trabalho.

À equipe da SPNT – Ministério dos Transportes pelas ideias e sugestões que contribuíram para o aperfeiçoamento da pesquisa.

Aos amigos de longa data, por estarem sempre por perto, e àqueles que tive oportunidade de fazer no PET, nestes dois anos de convivência.

À CAPES pela bolsa de auxílio concedida.

Aos professores Nassi e Abilio por aceitarem participar da banca, cujos comentários contribuirão forma ímpar para aprimoramento da pesquisa.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

MODELAGEM MATEMÁTICA PARA LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO DE  
CENTROS DE INTEGRAÇÃO LOGÍSTICA CONSIDERANDO AS DEMANDAS  
PAR-A-PAR

Vanessa de Almeida Guimarães

Março/2015

Orientador: Glaydston Mattos Ribeiro

Programa: Engenharia de Transportes

Considerando os desafios enfrentados pelo setor de transporte brasileiro, especialmente no que se refere aos custos logísticos associados à movimentação de carga, os planos governamentais recentes evidenciam a reorientação do planejamento do setor. Deseja-se alcançar integração entre as políticas federais e estaduais, as quais têm focado a promoção da intermodalidade e o reequilíbrio da matriz de transportes, buscando a eficiência logística e a minimização dos custos do setor. Para tanto, são necessários centros de integração logística – CILs que possibilitem a efetivação da intermodalidade. Assim, o objetivo principal deste trabalho é desenvolver uma modelagem matemática para localização de CILs, respeitando os fluxos de origem e destino das diferentes zonas de produção e demanda, tendo em vista a minimização dos custos logísticos. Para tanto, foram feitas pesquisas bibliográficas e documentais com intuito de compreender a evolução do planejamento de transporte, identificar os principais modelos matemáticos que poderiam contribuir para o desenvolvimento do modelo proposto e determinar os parâmetros para validação do modelo. Ao final, foi possível identificar as localizações de CILs para os produtos selecionados, bem como os custos e a economia financeira associados ao uso dessa estrutura, comparando-os com os resultados do transporte direto e do modelo sem demanda par-a-par.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ALLOCATION-ALLOCATION MATHEMATICAL MODEL TO LOGISTIC  
INTEGRATION CENTERS CONSIDERING PEER-TO-PEER DEMAND

Vanessa de Almeida Guimarães

March/2015

Advisor: Glaydston Mattos Ribeiro

Department: Transportation Engineering

Considering the challenges faced by Brazilian transportation sector, especially regarding logistics costs associated to freight movement, recent governmental plans show the reorientation of the planning. They want to achieve integration between federal and state policies, which have focused in promoting intermodality and a more balanced transport matrix seeking for logistics efficiency and minimizing the costs of this sector. Therefore, it is necessary logistic integration centers – CILs which enable intermodality. Thus, this dissertation aims to develop a mathematical model to locate CILs, respecting origin and destination flows of cargo from different production and demand zones, seeking to minimize the logistics costs. Bibliographic and documental researches were done in order to understand the transport planning evolution, to identify the main mathematical models that could contribute to the proposed model development and to determine the parameters for the model validation. At the end, we could identify as the CILs' location to the selected products as all as the costs and financial economy associated to these structures, comparing them to the results from direct transport and from the model without peer-to-peer demand.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PLANEJAMENTO NO SETOR DE TRANSPORTE</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Um breve histórico do planejamento de transporte brasileiro</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2</b>	<b>Planos e Programas Governamentais no setor de transporte</b> .....	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS À LOCALIZAÇÃO-ALOCACÃO DE TERMINAIS INTERMODAIS</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1</b>	<b>Conceituação de centros de integração logística</b> .....	<b>24</b>
<b>3.2</b>	<b>Modelagem matemática de referência</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2.1</b>	<i>Modelo matemático de DUBKE (2006)</i> .....	<b>31</b>
<b>3.2.2</b>	<i>Modelo matemático de MEISEL et al. (2013)</i> .....	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>MODELAGEM MATEMÁTICA PROPOSTA</b> .....	<b>43</b>
<b>4.1</b>	<b>Modelo matemático de Costa (2014)</b> .....	<b>43</b>
<b>4.2</b>	<b>Modelo matemático proposto</b> .....	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS PARA APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO</b> .....	<b>53</b>
<b>5.1</b>	<b>Zoneamentos das áreas de estudo</b> .....	<b>53</b>
<b>5.2</b>	<b>Rede de transporte do PNLT</b> .....	<b>55</b>
<b>5.3</b>	<b>Produtos selecionados para análise</b> .....	<b>57</b>
<b>5.3.1</b>	<b>Matrizes de produção e consumo dos produtos selecionados</b> .....	<b>62</b>
<b>5.4</b>	<b>Custos</b> .....	<b>70</b>
<b>5.5</b>	<b>Outros pressupostos adotados para a validação do modelo</b> .....	<b>76</b>
<b>6</b>	<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>79</b>
<b>6.1</b>	<b>Pré-processamento das variáveis e restrições</b> .....	<b>79</b>
<b>6.2</b>	<b>Resultados da aplicação do modelo proposto</b> .....	<b>81</b>
<b>6.3</b>	<b>Comparação com os resultados de COSTA (2014)</b> .....	<b>89</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>96</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>100</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Divisão modal da matriz de transporte de carga brasileira.....	16
<b>Figura 2:</b> Distribuição de Plataformas Logísticas ao redor do mundo.....	26
<b>Figura 3:</b> Procedimentos metodológicos (simplificados) para o desenvolvimento de presente pesquisa.....	42
<b>Figura 4:</b> Zoneamento da área de estudo segundo o PNLT.....	54
<b>Figura 5:</b> Rede multimodal do PNLT prevista para o ano de 2023.....	56
<b>Figura 6:</b> Cadeia produtiva da soja.....	63
<b>Figura 7:</b> Pontos de produção e consumo da soja, previstos para o ano de 2023.....	64
<b>Figura 8:</b> Pontos de produção e consumo de farelo, previstos para o ano de 2023.....	65
<b>Figura 9:</b> Cadeia produtiva do milho.....	66
<b>Figura 10:</b> Pontos de produção e consumo de milho, previstos para o ano de 2023.....	67
<b>Figura 11:</b> Cadeia produtiva da cana-de-açúcar.....	68
<b>Figura 12:</b> Pontos de produção e consumo de açúcar, previstos para o ano de 2023 ...	68
<b>Figura 13:</b> Localização geográfica dos CILs indicados para abertura.....	81
<b>Figura 14:</b> Distribuição da movimentação por CIL.....	82
<b>Figura 15:</b> Volume percentual de movimentação de cada produto nos CILs abertos...	83
<b>Figura 16:</b> Relação entre o custo e a economia associados à utilização dos CILs.....	86
<b>Figura 17:</b> Regiões indicadas para abertura de CILs pelo modelo de COSTA (2014) .	90
<b>Figura 18:</b> Comparação das movimentações totais em cada CIL aberto pelos modelos	91
<b>Figura 19:</b> Comparação da distribuição de produtos movimentados por meio de CILs nos dois modelos.....	92
<b>Figura 20:</b> Comparação entre os custos totais registrados em cada CIL, por modelo ..	92
<b>Figura 21:</b> Comparação entre o custo médio por tonelada movimentada em cada CIL por ambos os modelos.....	93

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Evolução do Planejamento de Transporte: Planos Nacionais de Viação e equivalentes, no âmbito federal .....	8
<b>Quadro 2:</b> Síntese dos principais planos e programas federais do setor de transportes das últimas duas décadas .....	13
<b>Quadro 3:</b> Investimentos previstos pelo PNLТ, por modo de transporte.....	17
<b>Quadro 4:</b> Síntese dos planos e programas estaduais de transportes encontrados na literatura.....	19
<b>Quadro 5:</b> Descrição geral dos modelos de localização.....	28
<b>Quadro 6:</b> Outros trabalhos sobre localização de terminais intermodais.....	31
<b>Quadro 7:</b> Parâmetros do modelo proposto por MEISEL <i>et al.</i> (2013).....	37
<b>Quadro 8:</b> Microrregiões por estado e região.....	55
<b>Quadro 9:</b> Grupos de produtos do PNLТ .....	59
<b>Quadro 10:</b> Matriz O/D para a soja – ano 2023.....	64
<b>Quadro 11:</b> Matriz O/D para o farelo de soja – ano 2023.....	65
<b>Quadro 12:</b> Matriz O/D para o milho – ano 2023 .....	67
<b>Quadro 13:</b> Matriz O/D para o açúcar – ano 2023.....	69
<b>Quadro 14:</b> Valor máximo, médio e mínimo de frete por produto .....	70
<b>Quadro 15:</b> Faixas quilométricas das concessionárias de referência. ....	71
<b>Quadro 16:</b> Tabela de referência América Latina Logística Malha Oeste S.A.....	71
<b>Quadro 17:</b> Frete hidroviário, por tipo de carga e faixa de distância (em R\$/t.km).....	73
<b>Quadro 18 –</b> Estimativa de frete hidroviário, por tipo de carga (R\$/t.km) .....	73
<b>Quadro 19:</b> Tabela de tarifas para produtos vinculados à Política de Garantia de Preços Mínimos e estoques estratégicos (março de 2013). ....	74
<b>Quadro 20:</b> Custos de operação do CIL.....	75
<b>Quadro 21:</b> Comparação do número de variáveis dos modelos.....	80
<b>Quadro 22:</b> Resumo dos resultados encontrados pela aplicação do modelo matemático proposto .....	84
<b>Quadro 23:</b> Taxa de utilização dos CILs selecionados .....	88
<b>Quadro 24:</b> Comparação dos principais resultados obtidos pela aplicação do modelo proposto e de COSTA (2014).....	95

## LISTA DE SIGLAS

ABIMAQ – Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos  
AHRANA – Administração da Hidrovia do Paraná  
ALL – América Latina Logística do Brasil S/A  
ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil  
ANTC – Associação Nacional do Transporte de Carga  
ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres  
ANTAQ – Agência Nacional de Transporte Aquaviário  
BANDES – Banco do Desenvolvimento do Espírito Santo  
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento  
CIL – Centro de Integração Logística  
CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas  
CNT – Confederação Nacional dos Transportes  
CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento  
COPPEAD – Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração  
DECOMTEC – Departamento de Competitividade e Tecnologia da FIESP  
DNER – Departamento Nacional de Estradas e Rodagem  
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes  
EADI – Estação Aduaneira de Interior  
EFC – Estrada de Ferro Carajás  
EFVM – Estrada de Ferro Vitória-Minas  
EPL – Empresa de Planejamento e Logística  
FCA – Ferrovia Centro Atlântica S/A  
FDA – Fundo de Desenvolvimento da Amazônia  
FDNE – Fundo de Desenvolvimento do Nordeste  
FDCO – Fundo de Desenvolvimento do Centro-Oeste  
FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo  
FTC – Ferrovia Tereza Cristina S/A  
FTL – *Full-train-load*  
FUNDAP – Fundo de Desenvolvimento de Atividades Portuárias  
GEIPOT – Grupo Executivo de Integração de Políticas de Transporte  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas  
LTL – *Less-than-train-load*

MRS – MRS Logística S/A  
MT – Ministério dos Transportes  
NTC & Logística – Associação Nacional de Transporte de Cargas e Logística  
O/D – Origem-Destino  
PAC – Plano de Aceleração do Crescimento  
PELTs – Planos Estaduais de Logística e Transporte  
PELC – Plano Estratégico de Logística de Carga  
PGO – Plano Geral de Outorgas  
PHE – Plano Hidroviário Estratégico  
PIB – Produto Interno Bruto  
PIL – Programa de Investimento em Logística  
PMBC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas  
PNIH – Plano Nacional de Integração Hidroviária  
PNLI – Plano Nacional de Logística Integrada  
PNLP – Plano Nacional de Logística Portuária  
PNLT – Plano Nacional de Logística e Transporte  
PNV – Plano Nacional de Viação  
PPA – Plano Plurianual  
PRN – Plano Rodoviário Nacional  
PRODLIST – Lista de produtos  
SCN – Sistema de Contas Nacionais  
SEGPLAN – Secretaria de Planejamento de Goiás  
SEINFRA – Secretaria de Estado de Infraestrutura  
SEP – Secretaria de Portos  
SIFRECA – Sistema Nacional de Fretes  
SNV – Sistema Nacional de Viação  
SPNT – Secretaria de Política Nacional de Transportes  
TU – Unidade de Transporte  
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro  
USP – Universidade de São Paulo  
ZAL – Zona de Atividades Logísticas Portuárias

## 1 INTRODUÇÃO

O transporte é fundamental para o desenvolvimento econômico de determinado país ou região, pois possibilita o fluxo de mercadorias entre produtores e consumidores localizados em posições geográficas dispersas. No Brasil, este setor se torna ainda mais importante em função da sua dimensão continental (CNT e COPPEAD, 2002) e da distribuição das atividades produtivas (DINIZ, 2006), as quais tem se deslocado para regiões do Centro-Oeste, Norte e Nordeste (FLEURY, 2003).

Além disso, PADULA (2008) destaca que a infraestrutura de transportes é fundamental para integração com o mercado produtor, interno e externo. Assim, investimentos neste setor são essenciais, pois, ao reduzirem custos e distâncias, alcançam efeitos multiplicadores em toda a cadeia produtiva proporcionando desenvolvimento econômico a setores produtivos e regiões do país.

OLIVEIRA JUNIOR (2011) enfatiza este ponto de vista ao afirmar que não adiantam incentivos governamentais, como o Fundo de Desenvolvimento da Amazônia – FDA, Fundo de Desenvolvimento do Nordeste – FDNE, o Fundo de Desenvolvimento do Centro-Oeste – FDCO (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2014) e o Fundo de Desenvolvimento de Atividades Portuárias – FUNDAP (BANDES, 2014) se não houver investimento em infraestrutura de transporte.

O estudo da Confederação Nacional do Transporte – CNT em parceria com a COPPEAD/UFRJ (CNT e COPPEAD, 2002) reforça, ainda, que a eficiência econômica do setor de transportes proporciona desenvolvimento regional e gera valor, internacionalmente, para uma nação. Contudo, no Brasil, o custo logístico representa de 10,6% - 15,4% do valor do PIB enquanto nos Estados Unidos este valor é de 8,5% (REBELO, 2011; CNT, 2014), o que acaba prejudicando a competitividade do país.

A ineficiência deste setor provoca aumento do “Custo Brasil”, o qual é calculado com base nas restrições legais, institucionais, burocráticas e de infraestrutura que condicionam as atividades econômicas e sociais, limitando o crescimento econômico e, conseqüentemente, trazendo impactos negativos à sociedade (CNT, 2014). Um exemplo direto da influência negativa do Custo Brasil na competitividade é o fato de um produto brasileiro ser 37% mais caro do que o mesmo produto produzido na Alemanha (ABIMAQ, 2013). Ao mesmo tempo, um bem manufaturado nacional chega a ser 38% mais caro do que um similar importado (FIESP, 2013).

Dessa forma, embora o item “infraestrutura” logística seja apenas um dos seis<sup>1</sup> itens que compõem o Custo Brasil, ele representa até 1,8% do preço dos produtos industriais brasileiros. Além disso, as empresas industriais gastam 1,0% do seu faturamento - aproximadamente R\$ 17 bilhões anuais - com a atividade logística devido às deficiências da infraestrutura de transporte (DECOMTEC, 2012).

Cabe destacar que, segundo o estudo do DECOMTEC (2012), estes valores não abrangem a ineficiência modal da infraestrutura de transporte do Brasil, ou seja, o custo do sistema logístico. Considerou-se apenas transporte, manutenção e armazenamento, sendo que o custo com transporte tem o maior impacto (60%). Ressalta-se que o percentual atribuído ao custo com transporte neste estudo é aderente ao apresentado nos estudos de FLEURY e WANKE (2006), BARAT *et al.* (2007) e REBELO (2011).

Assim, para LOPES *et al.* (2008) há espaço para melhoria da eficiência da atividade de transporte no país. Entende-se, portanto, que o planejamento estratégico deste setor é importante para o aumento da competitividade brasileira (em nível nacional e internacional) e para redução dos custos totais associados às atividades de movimentação de carga. O relatório da CNT (2014) destaca que as lacunas no planejamento e no desenvolvimento de um sistema de transporte integrado têm conduzido a desequilíbrios na matriz de transporte, o que faz com que haja uma redução de competitividade e aumento do Custo Brasil, discutidos nos parágrafos anteriores.

Neste sentido, diferentes planos e programas federais e estaduais foram lançados ao longo das duas últimas décadas sinalizando a necessidade de investimentos específicos na infraestrutura de transporte (ampliação ou implantação). Dentre eles, destaca-se o Plano Nacional de Logística e Transportes – PNLT, lançado em 2007 e revisado em 2009 e 2011, que fomenta a intermodalidade e o reequilíbrio à matriz de transporte de cargas, de forma a se aproveitar as eficiências de cada modo de transporte (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES - MT, 2007, 2009 e 2012).

Trata-se de um plano com características de Plano Plurianual, que estima as matrizes de produção e consumo brasileiras para diferentes tipos de produtos

---

<sup>1</sup> São considerados para o cálculo do Custo Brasil: (1) tributação; (2) custo do capital de giro; (3) custo de energia e matéria prima; (4) custo de infraestrutura logística; (5) custos extras de serviços a funcionários; e, (6) custos de serviços *non-tradeables* (DECOMTEC, 2012). Entende-se como *non-tradeables* aqueles bens ou serviços que não são comercializáveis internacionalmente devido à sua natureza – como perecibilidade – e/ou aos altos custos de transporte, tarifações ou outras restrições (KON, 2005). Os serviços, por serem intangíveis, em sua maioria são considerados *non-tradeables* embora a globalização e o desenvolvimento tecnológico já tenham permitido a comercialização internacional de alguns tipos de serviços (KON, 1999). Destaca-se que o custo da mão de obra e outras ineficiências sistêmicas não estão incluídos no cálculo do Custo Brasil (DECOMTEC, 2012).

(inicialmente até 2023 e, na sua segunda revisão, até 2031), fazendo indicações sobre a infraestrutura de transporte e os investimentos planejados para que se alcance o reequilíbrio da matriz. CORREA e RAMOS (2010), FLEURY (2011), COSTA (2014), QUADROS e NASSI (2015) apontam o PNLT como a retomada do planejamento estratégico no setor de transportes brasileiro, após um longo período de falta de investimentos coordenados e de integração sistêmica.

Entretanto, para que a intermodalidade possa ser efetivada são necessárias estruturas de integração logística, como centros de integração logística (CILs). Neste trabalho, adota-se a definição de COSTA (2014) a qual considera CILs desde terminais de carga e descarga até plataformas logísticas. Mas, para que tais estruturas de integração possibilitem a otimização dos custos logísticos totais, torna-se necessário que elas estejam localizadas em pontos estratégicos do território nacional, considerando os fluxos de carga entre pontos de produção e consumo nacionais e internacionais.

Neste contexto, surge a seguinte problemática: como determinar a localização de centros de integração logística (CILs), no Brasil, considerando os fluxos de carga entre origem e destino projetados pelo PNLT, a evolução da infraestrutura de transportes disponível e os custos logísticos associados? Dessa forma, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma modelagem matemática para localização-alocação de CILs, respeitando os fluxos de origem e destino, tendo em vista a minimização de custos logísticos. Como objetivos específicos, têm-se: (1) identificar os principais fluxos de produtos em território nacional, levando em conta os pontos de origem e destino, as matrizes do PNLT (para o ano de 2023), bem como os projetos de infraestrutura previstos neste plano; (2) identificar os modos de transporte disponíveis em cada região de forma a usar os potenciais de intermodalidade com vistas à redução dos custos; e, (3) comparar os resultados obtidos pela inserção de restrições que garantam que as demandas par-a-par serão atendidas com o modelo proposto por COSTA (2014).

A fim de alcançar os objetivos propostos, inicialmente, fez-se um levantamento sobre os planos e projetos dos governos federais e estaduais a fim de compreender a orientação que o planejamento deste setor vem tomando nas duas últimas décadas. Em seguida, foram analisados trabalhos que envolvem modelos de localização-alocação de facilidades, especialmente aqueles que envolvem integração modal como o proposto DUBKE (2006), MEISEL *et al.* (2013) e alguns discutidos no trabalho de STEADIESEIFI *et al.* (2014).

Acredita-se que a utilização de um modelo matemático para implantação de estruturas integradoras possibilitará uma maior efetividade no escoamento da produção, aproveitando as potencialidades de cada modo de transporte e dos operadores que atuam no sistema. Assim, auxiliará na otimização dos custos das cadeias logísticas envolvidas. Dessa forma, o trabalho se mostra relevante uma vez que tem como intuito desenvolver uma ferramenta que pode ser usada como instrumento de apoio às decisões governamentais relacionadas ao planejamento do setor de transportes brasileiro.

Além disso, a importância deste estudo é reforçada pelo fato do setor de transporte ter: (i) relevância nacional, transnacional e transversal - em relação aos outros setores econômicos (CNT, 2014); (ii) significativa participação econômica no Produto Interno Bruto (CNT, 2014) – os custos logísticos chegam a 15% (REBELO, 2011), sendo o transporte responsável por 60% deles (REBELO, 2011, BARAT *et al.*, 2007); e (iii) problemas estruturais que, associados ao desequilíbrio da matriz de transportes brasileiro, comprometem a qualidade dos serviços prestados e, principalmente, o desenvolvimento econômico e social do país (FLEURY e WANKE, 2006).

É importante mencionar que o estudo de localização de facilidades está situado na esfera do planejamento estratégico do sistema de transportes sendo de relevância para a comunidade científica, como evidenciado nos trabalhos de CRAINIC e LAPORTE (1997), ALMUR e KARA (2008), CAMPBELL e O’KELLY (2012) e STEADIESEIFI *et al.* (2014).

Destaca-se, ainda, que o fato de considerar as demandas par-a-par, diferencia a proposta deste trabalho do modelo clássico de transporte, o qual considera que as demandas precisam ser atendidas, não importando, contudo, qual (ou quais) origem(ns) atenderá(ão) esta exigência. Assim, considerar as demandas par-a-par torna o modelo matemático proposto aderente à realidade econômica em que: (1) fornecedores de bens e serviços preocupam-se em atender clientes específicos e/ou respeitar contratos já estabelecidos; e (2) pode haver relação de confiança entre produtores e consumidores, não estando os clientes dispostos a ter sua demanda satisfeita por outros fornecedores.

Como delimitação do estudo, destaca-se que foi usada a base georreferenciada do PNLT, portanto, o foco do trabalho esteve direcionado para os principais produtos apontados por este plano. Além disso, não foram considerados os projetos de infraestrutura realizados pelos governos estaduais nem plataformas de integração já existentes (ou em projeto), tomando-se como base as conexões indicadas pelo PNLT

para o ano de 2023. Ademais, adotaram-se as distâncias entre os pontos de produção e consumo como fator impedância das possíveis conexões.

Destaca-se que o presente trabalho tomou como base o estudo desenvolvido por COSTA (2014), agregando à proposta da autora restrições que garantam o respeito aos fluxos de origem e destino das cargas movimentadas em território nacional – restrição não abordada pela autora por fatores de simplificação do modelo.

Assim, o presente trabalho está estruturado em sete capítulos, incluindo esta introdução. O Capítulo 2 discorre sobre a evolução do planejamento de transporte no Brasil, apresentando os principais planos governamentais desenvolvidos nos últimos anos. Dentre eles, detalha-se o PNLT tendo em vista que sua base de dados foi utilizada para a validação do modelo proposto (Capítulo 6).

No Capítulo 3 são feitas considerações sobre o transporte intermodal e estruturas de integração logística. Entretanto, seu principal objetivo é discorrer sobre modelos de localização-alocação que fomentaram e embasaram o desenvolvimento do presente trabalho. Além disso, ao final deste capítulo, é apresentado um fluxograma que representa, de maneira simplificada, os procedimentos metodológicos de elaboração deste estudo.

Destaca-se, entretanto, que o modelo desenvolvido por COSTA (2014) foi detalhado apenas no Capítulo 4, de maneira a facilitar a comparação entre os modelos da autora e o proposto na presente dissertação. Portanto, o Capítulo 4 é dedicado, essencialmente, à apresentação do modelo matemático de localização-alocação desenvolvido neste trabalho e aos aspectos que o envolvem.

O Capítulo 5, por sua vez, discorre sobre os parâmetros adotados para a aplicação do modelo matemático proposto, envolvendo desde determinações sobre o zoneamento do território brasileiro em regiões potenciais para instalação dos CILs até custos inerentes à utilização desta estrutura.

O Capítulo 6 apresenta os principais resultados obtidos pela aplicação do modelo proposto, dados os parâmetros do Capítulo 5, comparando-os com os resultados advindos da aplicação do modelo de COSTA (2014). Enquanto, o Capítulo 7 dedica-se às considerações finais, evidenciando se os objetivos foram atingidos e os principais resultados alcançados.

Por fim, são apresentadas as referências utilizadas para a elaboração do trabalho.

## 2 PLANEJAMENTO NO SETOR DE TRANSPORTE

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma visão geral da evolução do planejamento no setor de transportes brasileiro. A ideia é posicionar o leitor quanto às principais mudanças e avanços alcançados, especialmente nas últimas duas décadas, fazendo com que estruturas de integração logística se tornassem relevantes para o processo de integração do setor.

Pretende-se mostrar o caminho percorrido na direção de um planejamento sistêmico e integrado que, no longo prazo, poderá proporcionar reduções no custo logístico global das cadeias que envolvem a atividade de transporte, reduzindo, conseqüentemente, o Custo Brasil e aumentando a competitividade do país (nacionalmente e internacionalmente).

Cabe destacar que estruturas de integração logística podem auxiliar no equilíbrio na matriz de transporte de cargas, bem como na promoção da intermodalidade conforme preconizado pelo PNLT (MT, 2007, 2009 e 2012). Ressalta-se que o equilíbrio na matriz de transportes é fundamental não apenas para redução dos custos globais do setor, como também para a adoção de uma matriz mais adequada do ponto de vista ambiental.

Ao promover o uso de modos de transportes de maior capacidade (especialmente ferroviário e aquaviário), ganha-se tanto pela eficiência de escala quanto pelo uso de modos com maior eficiência energética e, conseqüente, menor impacto ambiental no que diz respeito ao consumo de energia, à emissão de poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa (GUIMARÃES *et al.*, 2013; PMBC, 2013; VYAS, *et al.*, 2013).

Assim, embora o foco do trabalho esteja na redução dos custos globais de transporte, a utilização de CILs proporciona, de forma indireta, uma redução nos impactos ambientais do setor, uma vez que eles permitem a transferência de carga para modos de transporte de maior eficiência energética (STEENHOF *et al.*, 2006; KHAN RIBEIRO *et al.*, 2007; VYAS *et al.*, 2013; PMBC, 2013).

A questão ambiental tem sido considerada nos planos lançados pelo Governo Federal como o PNLT e o Plano Geral de Outorgas Portuárias - PGO (o qual leva em consideração as unidades de conservação ambiental para identificação da localização dos novos portos públicos). Além disso, é cerne de conferências mundiais e de trabalhos científicos da área (ASHINA *et al.*, 2012; BAPTISTA *et al.*, 2012; BASTANI *et al.*, 2012; LI *et al.*, 2012; AKIMOTO *et al.*, 2013). Portanto, embora o objetivo deste trabalho não englobe a análise ambiental, a implantação de CILs pode contribuir não

apenas para o reequilíbrio da matriz de transportes brasileira, mas também para torná-la mais eficiente, do ponto de vista ambiental.

Dessa forma, torna-se importante compreender a evolução do planejamento de transporte para que se possa propor um modelo matemático alinhado às políticas do Governo Federal para o país. Assim, este capítulo está dividido da seguinte forma: primeiro é apresentado um breve histórico do planejamento no setor de transportes e, em seguida, discorre-se sobre os planos federais e estaduais lançados nas duas últimas décadas a fim de mostrar a nova orientação do planejamento neste setor e evidenciar a importância de estruturas de integração logística.

## **2.1 Um breve histórico do planejamento de transporte brasileiro**

O planejamento do setor de transportes consiste em um conjunto de atividades que avaliam: (1) os problemas associados à demanda por transporte de pessoas e bens, atuais e potenciais; (2) as soluções de transporte, considerando o desenvolvimento social, ambiental, técnico e econômico e (3) aspectos relacionados ao uso e ocupação do solo (LUNA *et al.*, 2011; RODRIGUE *et al.*, 2009). Portanto, o planejamento é responsável por organizar os sistemas de transporte e definir a infraestrutura necessária para assegurar a circulação de bens e pessoas, tendo em vista os três pilares apresentados (MORALES, 2007; COSTA, 2014).

Segundo COSTA (2014) o objetivo do planejamento neste setor é equilibrar a oferta e demanda por transporte, tornando os sistemas de transporte mais eficientes, levando em conta o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade. Para tanto, a autora explica que o processo de planejamento deve: (1) dimensionar e combinar, de forma apropriada, as capacidades futuras dos serviços de transporte, considerando os modos disponíveis; (2) prever a localização da demanda futura de serviços de transportes, o que impacta diretamente na definição de novas infraestruturas, como vias e terminais; e (3) escalonar as prioridades de investimentos, as quais deverão atender a demanda atual e potencial. Assim, nota-se que a localização de CILs insere-se dentro do escopo do planejamento estratégico do setor, do ponto de vista governamental.

Além disso, QUADROS (2014) aponta como tópicos relevantes que devem ser considerados pelo planejamento deste setor: (1) ampliação da infraestrutura viária; (2) redução de custos de transporte; (3) ampliação da acessibilidade e/ou mobilidade; e (4) integração modal para equilíbrio da matriz de transportes, principalmente de cargas. A proposta de localização de CIL contribuiria, neste caso, para o alcance dos itens 2 e 4.

Contudo, ao observar as estratégias do governo federal (Quadro 1), nota-se que a promoção da intermodalidade e, conseqüentemente, do uso de estruturas de integração, nem sempre foi o foco do planejamento do setor. O planejamento de transportes brasileiro passou por diferentes fases que acompanharam os ciclos políticos e econômicos, conforme evidenciado no Quadro 1, que mostra a evolução e objetivos dos principais dos Planos Nacionais de Viação – PNV e equivalentes.

**Quadro 1:** Evolução do Planejamento de Transporte: Planos Nacionais de Viação e equivalentes, no âmbito federal

Fase	Ano	Marcos	Foco	Modos privilegiados						Estruturas de integração
				Rodoviário	Ferrovário	Fluvial	Marítimo	Aéreo	Dutoviário	
Brasil Império	1838	Plano Rebelo	Construção de três estradas reais, interligando o país de São Paulo a Porto Alegre, Barbacena a Santíssima Trindade e Niterói ao Pará. Trata-se da primeira tentativa de uma política viária de integração nacional.	x						
	1869	Plano Moraes	Esboço da rede geral de vias fluviais navegáveis.			x				
	1874-1882	Plano Queiroz	Aproveitamento do rio São Francisco e estabelecimento de redes ferroviárias.		x	x				
	1874	Plano Rebouças	Estabelecimento de redes ferroviárias, partindo do Rio Amazonas.		x	x				
	1881	Plano Bicalho	Ênfase às ferrovias e à navegação fluvial.		x	x				
	1882	Plano Bulhões	Ênfase às ferrovias e à navegação fluvial.		x	x				
	1886	Plano Geral de Viação	Construção de novas ferrovias, permitindo o acesso ao interior do país com a integração dos modais fluvial e ferroviário.		x	x				
Brasil República (1ª fase)	1890	Plano da Comissão	Estabelecer as competências federais e estaduais no transporte ferroviário e fluvial, prevendo futuras ligações destes modos. Embora visasse à integração nacional necessária, nunca foi implantado.		x	x				
	1891	Cabotagem	Estabelece a cabotagem e exploração de portos.				x			
	1903	Madeira Mamoré	Construção da estrada de ferro Madeira-Mamoré (não-concluída) em contrapartida à cessão do Acre, pela Bolívia.		x					
	1911	Inspetoria Federal das Estradas - IFE	Criação da Inspetoria Federal das Estradas para fiscalizar as operações e construções de ferrovias (então, majoritárias na matriz de transporte) e rodovias. Em 1941, foi substituída pelo Departamento Nacional de Estradas de Ferro – DNEF.	x	x					
	1912	Plano de Viação Férrea	Integração ferroviária para o Vale do Amazonas.		x					

Fase	Ano	Marcos	Foco	Modos privilegiados					Estruturas de integração	
				Rodoviário	Ferrovário	Fluvial	Marítimo	Aéreo		Dutoviário
Brasil República (1ª fase)	1926 – 1930	Plano Catambri	Incentivo ao transporte rodoviário. Instituiu o imposto sobre os combustíveis, destinado à criação e conservação da infraestrutura. Pensou-se, em 1927, a implantação de rodovias tendo Goiás como ponto central. A rodovia seria um elo com a ferrovia.	x						
	1934	Constituição de 1934	Priorizava a navegação, mas já preceituava o estabelecimento de um plano nacional ferroviário e de estradas de rodagem, e propunha regulamentar o tráfego rodoviário interestadual.	x		x	x			
	1934	PNV (Decreto-Lei 24.497)	Era de natureza multimodal, mas a prioridade conferida pelo governo ao modo rodoviário já começava a se revelar.	x	x	x	x			
	1937	DNER	Criação do Departamento Nacional de Estradas e Rodagem – DNER, o qual apresentou um novo plano nacional de viação promovendo o modo rodoviário.	x						
	1944	Plano Rodoviário Nacional – PRN	Focado na malha rodoviária, pretendia ligar o país de Norte a Sul, bem como em outras direções.	x						
		Revisão do PNV de 1934	De caráter multimodal, o plano mudava o foco das ferrovias para as rodovias, aerovias e para navegação.	x	x	x	x	x		
	1951	PNV	De caráter multimodal, nunca foi formalmente aprovado pelo Governo Federal.	x	x	x	x	x		
	1956	PRN e Plano Ferroviário Nacional	Tais planos foram aprovados para se adequar ao Plano de Metas do Governo Juscelino Kubitscheck.	x	x					
Brasil República (2ª Fase)	1964	PNV	No Governo Militar, as prioridades eram: a integração do país a partir de Brasília e a garantia do escoamento da produção. Assim, definia que a localização dos elementos de infraestrutura de qualquer sistema de viação, vias e terminais deveria permitir a circulação nacional e ser capaz de atender às demandas de bem-estar e segurança do país.	x	x	x	x	x		x
	1965	GEIPOT	Vigente até 2008, o GEIPOT assessorava o poder executiva no planejamento e avaliação de políticas públicas do setor.	x	x	x	x	x		
	1973	PNV (Lei 5.917/1973)	Englobava os modos rodoviários, ferroviários, aquaviários, portuários e aeroviários, além de conexões intermodais. Foi revogado pela lei 12.379/2011, que instituiu o Sistema Nacional de Viação vigente.	x	x	x	x	x		x
	1985 – 1995	-(2)	Período marcado pelo “enfraquecimento” de investimentos no setor.							

Fase	Ano	Marcos	Foco	Modos privilegiados						Estruturas de integração
				Rodoviário	Ferrovário	Fluvial	Marítimo	Aéreo	Dutoviário	
Brasil República (3ª Fase)	2001	Lei 10.233/2001	Reestruturação legal do sistema de transporte do país. Dispõe sobre a ordenação dos transportes aquaviário e terrestre, além de oficializar a criação dos órgãos responsáveis pela administração da infraestrutura de transportes (DNIT, ANTT e ANTAQ).	x	x	x	x			x
	2002	Decreto 4129/2002	Implantação, efetiva (de estrutura organizacional), do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT	x	x	x	x			
		Decreto 4130/2002	Implantação, efetiva, da Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT	x	x					x
		Decreto 4122/2002	Implantação efetiva da Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ			x	x			
	2005	Lei 11.182/2005	Regulamenta a criação da ANAC.					x		
	2007	PNLT <sup>(1)</sup>	Lançamento da primeira versão do PNLT, com vistas à promoção da intermodalidade e ao reequilíbrio da matriz de transportes de carga no Brasil.	x	x	x	x	x	x	x
2011	Sistema Nacional de Viação – SNV (Lei 12.379/11)	Compreende os subsistemas: rodoviário, ferroviário, aquaviário e aeroviário, incluindo seus terminais. Foram mantidos os projetos do PNV de 1973.	x	x	x	x	x		x	

Nota: (1) Optou-se por apresentar apenas o PNLT tendo em vista sua importância para o planejamento do setor. Informações sobre os demais planos estão apresentadas nos Quadros 2 e 4. (2) O período de 1985 a 1995 foi marcado pelo enfraquecimento do planejamento do setor, substituído por ações pontuais e setoriais sem coordenação do Estado. Destaca-se que apenas com o Plano Plurianual - PPA de 1998, conhecido como “Programa Brasil em Ação”, as bases para planejamento e investimentos do setor foram retomadas (NIGRIELO, 2010).

Fonte: elaborado com base em BRASIL (1973 e 2011), ANAC (2014) e MT (2014a)

A partir da leitura de COSTA (2014) e da análise do Quadro 1, pode-se apontar quatro marcos no planejamento do setor de transportes brasileiro:

**Marco 1** – Em 1934, durante o governo de Getúlio Vargas, adotou-se um posicionamento considerado inédito: integração entre os modos de transporte por meio do primeiro Plano Nacional de Viação - PNV. Destaca-se que, até então, a prioridade era dada aos modos ferroviário e aquaviário (especialmente fluvial e cabotagem), havendo um planejamento diferenciado para cada modo de transporte. Com o primeiro PNV, o planejamento passou a ser integrado privilegiando-se, contudo, o modo rodoviário.

**Marco 2** – A criação do Grupo Executivo de Integração de Políticas de Transporte – GEIPOT, em 1965, trouxe modificações ao planejamento deste setor: adotou-se a visão sistêmica multimodal e a avaliação de viabilidade de investimentos públicos neste setor. Este grupo teve como objetivo principal assessorar o poder executivo no planejamento, na formulação e na avaliação de políticas públicas de transportes, sob orientação do Ministério dos Transportes (INVENTARIANÇA DO GEIPOT, 2014).

**Marco 3** – A promulgação da Constituição de 1988, que instituiu o Plano Plurianual (PPA) como principal instrumento de planejamento governamental, inclusive do setor de transportes. Desde então, programas e planos federais e estaduais foram lançados visando retomar a modernização e crescimento deste setor, culminando no quarto marco.

**Marco 4** – A partir do ano 2000, seguindo a nova orientação do setor de transporte para a elaboração de Planos de Logística, diversos planos federais e estaduais foram lançados, com destaque para o PNLT e para os Planos Estaduais de Logística e Transporte (PELTs) – como será abordado na Seção 2.2. Por meio destes, reforçou-se a necessidade de integração entre os diferentes modos de transporte, ficando evidente também a necessidade de integração entre as ações de planejamento estratégico em diferentes níveis governamentais (União, estados e municípios). Assim, tem-se buscado a adequação dos sistemas de transporte, com incentivo da multi e da intermodalidade, a fim de otimizar os custos das diferentes cadeias logísticas. Ao fazer isso, acredita-se ser possível aumentar a competitividade do país, por meio da redução do Custo Brasil e da redução das ineficiências logísticas.

Nota-se ainda, pela análise do Quadro 1, que as estruturas de integração logística já começaram a ser apontadas pelos dois últimos PNVs. O PNV de 1973, no seu art. 1, menciona, ainda que de forma superficial, as conexões intermodais de transportes como pertencentes ao sistema nacional de transporte urbano (BRASIL, 1973). Já o SNV de 2011, aponta em cada um dos sistemas de transporte (aéreo, rodoviário, ferroviário e aquaviário), os terminais como componentes importantes, os quais devem ser considerados no estabelecimento de seus elementos (BRASIL, 2011).

Por exemplo, ao falar do Subsistema Ferroviário Nacional, a lei 12.379/2011 coloca como um dos critérios pelos quais uma ferrovia pode ser construída: “possibilitar o acesso a portos e terminais do Sistema Federal de Viação” (Art. 20, II, Lei 12.379/2011). Além disso, descreve as rodovias de ligações como aquelas que:

*“ligam pontos importantes de 2 (duas) ou mais rodovias federais, ou permitem o acesso a instalações federais de importância estratégica, a pontos de fronteira, a áreas de segurança nacional ou aos principais terminais marítimos, fluviais, ferroviários ou aeroviários constantes do SNV.” (Art. 13, V, Lei 12.379/2011).*

Dessa forma, percebe-se, no SNV de 2011, esta nova orientação do Governo Federal para a promoção da intermodalidade. Pode-se afirmar que, além do GEIPOT que estruturou o processo de análise das políticas públicas em transportes, o PNLT foi o grande marco desta reorientação das estratégias de planejamento neste setor (MT 2007, 2009 e 2012), como será apresentado na Seção 2.2.

## **2.2 Planos e Programas Governamentais no setor de transporte**

Como evidenciado na Seção 2.1, o planejamento de transportes no Brasil passou por diversos ciclos de desenvolvimento, partindo de uma lógica individualista para a visão sistêmica e de integração entre os diferentes modos de transportes. Destaca-se que, segundo MORALES (2007), o planejamento é algo dinâmico, devendo ser sistemático e integrado, visto que lida com recursos escassos e metas prioritárias. Portanto, é natural que haja uma mudança nos focos dos planos apresentados, em função das demandas da sociedade e de metas consideradas prioritárias.

Na tentativa de estabelecer uma matriz de transporte mais eficiente e equilibrada, diferentes planos federais foram desenvolvidos, como o PNLT (MT, 2007, 2009 e 2012), o Plano de Aceleração do Crescimento – PAC (MT, 2013a e 2014b), o PGO (ANTAQ, 2009; BRITO, 2012), o Plano Nacional de Logística Portuária – PNLP (SEP, 2012), o Plano Hidroviário Estratégico – PHE (MT, 2013b), o Plano Nacional de Integração Hidroviária – PNIH (TOKARSKI, 2011; BRITO, 2012), o Programa de Investimento em Logística – PIL (EPL, 2014a) e o Plano Nacional de Logística Integrada – PNLI (lançamento previsto para 2015, segundo CASTRO, 2013, YUNES, 2013 e EPL, 2014b). As principais características destes planos estão apresentadas no Quadro 2.

**Quadro 2:** Síntese dos principais planos e programas federais do setor de transportes das últimas duas décadas

Plano	Ano		Horizonte de planejamento	Principais objetivos	Modos privilegiados	Previsão de investimentos							Planos com os quais se relaciona <sup>(5)</sup>
	Lançamento	Revisão/ Versões				Rodovia	Ferrovia	Hidrovia	Portos	Aeroportos	Dutos	Terminais	
PNLT	2007	2009 e 2011	2031 <sup>(1)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Equilibrar a matriz de transporte;</li> <li>ii. Promover a intermodalidade;</li> <li>iii. Promover a integração regional sul-americana;</li> <li>iv. Estruturar corredores de escoamento da produção;</li> <li>v. Reduzir desigualdades regionais;</li> <li>vi. Aumentar eficiência produtiva em áreas consolidadas; e</li> <li>vii. Induzir o desenvolvimento de áreas de expansão de fronteira agrícola e mineral.</li> </ul>	Hidroviário e Ferroviário	x	x	x	x	x	x	x	PAC PGO PNIH PHE
PAC	2007	PAC 1 e 2	PAC 1 (2010) PAC 2 (2014)	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Adequar a infraestrutura de transporte por meio da construção e ampliação de rodovias, ferrovias, portos, aeroportos e hidrovias. Foram destinados recursos, também, para construção de terminais.</li> <li>ii. Indiretamente, tem como objetivo promover a intermodalidade e integração regional.</li> </ul>	Todos	x	x	x	x	x	x	x	PNLT PGO PNIH
PGO	2009	- <sup>(2)</sup>	2023	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Estudar áreas propícias para investimentos no setor portuário;</li> <li>ii. Indicar as melhorias de infraestrutura necessárias para fomentar a utilização do transporte aquaviário; e</li> <li>iii. Criar o programa de arrendamento das instalações dos portos públicos existentes.</li> </ul>	Aquaviário			x	x				PNLT PAC
PHE	2012	-		<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Viabilizar o transporte hidroviário de interior em larga escala, de forma a fortalecê-lo como uma alternativa para o escoamento da produção e para o deslocamento de pessoas.</li> </ul>	Hidroviário			x					PNLT PNIH

Plano	Ano		Horizonte de planejamento	Principais objetivos	Modos privilegiados	Previsão de investimentos							Planos com os quais se relaciona <sup>(5)</sup>	
	Lançamento	Revisão/ Versões				Rodovia	Ferrovia	Hidrovia	Portos	Aeroportos	Dutos	Terminais		
PLNP	2012	-	2030	i. Analisar os aspectos relacionados à gestão, operação e infraestrutura dos terminais portuários; ii. Identificar as principais restrições operacionais e gargalos, bem como potencialidades de cada terminal; e iii. Nortear as decisões de investimentos da Secretaria Especial de Portos - SEP.	Aquaviário, com enfoque nos portos.				x					PAC
PNIH <sup>(3)</sup>	2013	-	2030	i. Realizar um estudo detalhado sobre as hidrovias brasileiras a fim de estimar a demanda por este modo de transporte; e ii. Indicar áreas propícias para instalação portuária.	Hidroviário			x						PNLT PHE
PIL	2012	-	2042	i. Elevar a escala dos investimentos em infraestrutura de transporte, dotando o país de uma rede considerada “ <i>ampla, moderna e com tarifas módicas</i> ”; ii. Promover a intermodalidade e integração; e iii. Permitir a articulação com as cadeias produtivas.	Rodoviário Portuário Ferroviário Aéreo	x	x		x	x				-
PNLI <sup>(4)</sup>	2015	-	2035	i. Uso racional dos modos de transporte; e ii. Prover a intermodalidade.	Rodoviário Portuário Ferroviário Aéreo	x	x		x	x				-

Nota: (1) A versão 2007 considera o horizonte até 2023 e a revisão, publicada em 2012, estendeu-o até 2031; (2) Não foram encontrados registros sobre atualização (finalizada ou em andamento). Contudo, em 2012, a ANTAQ sinalizou a necessidade de revisão das bases de dados deste programa englobando o PNLT e o PLNP; (3) Elaborado em 2012 e lançado em 2013; (4) Com previsão de lançamento em 2015, deve contemplar um horizonte de 20 anos; (5) Se o documento/relatório analisado menciona outros planos (como o PGO cita o PNLT, em seu texto), esta relação foi considerada. No caso do PNLI e do PIL não foram encontrados documentos que demonstrem a interface com outros planos, o que não significa, necessariamente, que esta relação não exista.

Fonte: elaborado com base em ANTAQ (2009), BRITO (2012), CASTRO (2013), EPL (2014ab), MT (2007, 2009, 2012, 2013ab, 2014b), SEP (2012), TOKARSKI (2011) e YUNES (2013).

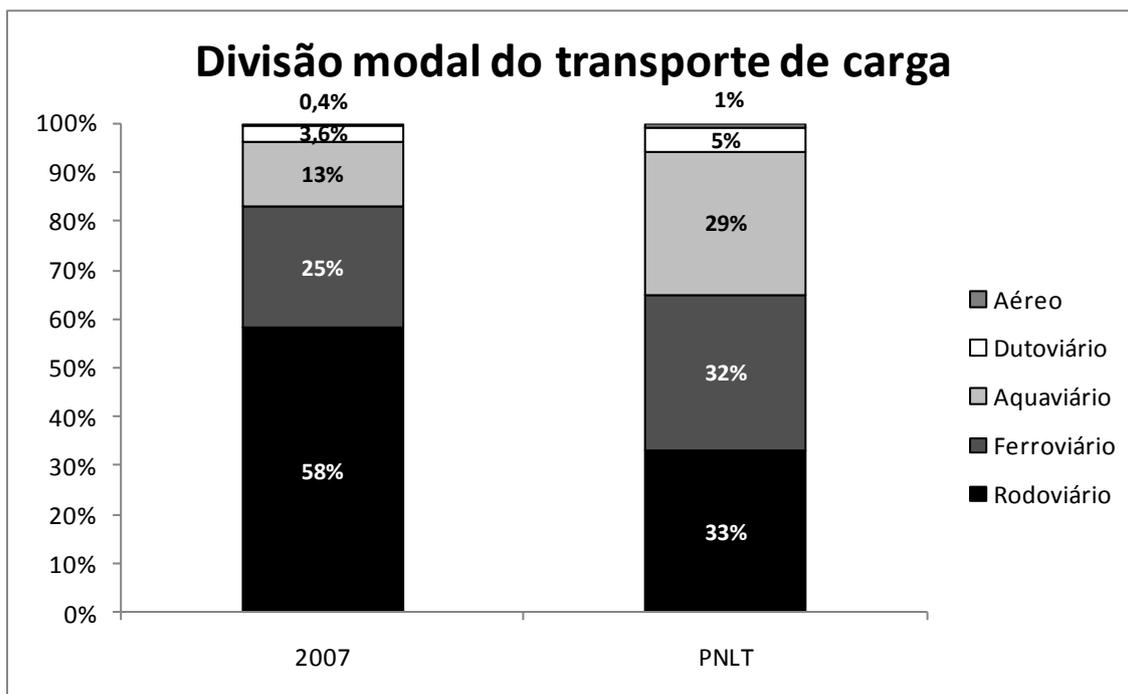
Destaca-se que o PGO, o PHE, o PNLP e o PNIH, embora abordem essencialmente o transporte aquaviário, são fundamentais para que se alcance o equilíbrio na matriz de transporte e se reestruture este subsistema a fim de alcançar a integração modal proposta pelo PNLT. Cabe ressaltar, como apresentado no Quadro 2, que eles não foram elaborados de forma isolada, tendo sofrido influência direta dos outros planos lançados no setor, o que representa a visão sistêmica discutida no capítulo anterior.

Dentre os planos apresentados, deve-se detalhar especialmente o PNLT, por duas razões: (1) ele influenciou direta ou indiretamente os demais planos apresentados, seja pela utilização de sua base de dados, seja para a definição dos produtos relevantes ou pela orientação à intermodalidade; e, (2) a problemática deste trabalho envolve a localização de CILs de forma a minimizar os custos totais da cadeia de transporte (seriam os recursos escassos apontados por MORALES, 2007), considerando os principais fluxos de produtos previstos no PLNT, com vistas à integração regional.

Embora tenha recebido algumas críticas após seu lançamento, o PNLT, desenvolvido em 2007 pelo Ministério dos Transportes em parceria com o Ministério da Defesa, representa a retomada do planejamento estratégico de médio e longo prazo para o setor (QUADROS, 2014; QUADROS e NASSI, 2015). Por meio dele, deseja-se oferecer instrumentos de análise que permitam e suportem o planejamento de intervenções públicas e privadas na infraestrutura e na organização dos sistemas de transporte (MT, 2007). Além disso, busca-se embasar a formulação dos PPAs e subsidiar a definição da composição do portfólio de projetos integrantes do PAC.

Os projetos mencionados no PNLT consideram os custos de toda cadeia logística, buscando otimizar os custos associados aos fluxos de transporte de carga entre origens e destinos. Para tanto, foi aplicado um conjunto de metodologias estruturado em bases de dados geográficas, definidora da oferta de transportes (sistema viário multimodal) e dos elementos da demanda dessa oferta (QUADROS, 2014; QUADROS e NASSI, 2015).

Ressalta-se que o PLNT leva em conta a integração e complementaridade dos diferentes modos de transportes, buscando aumentar a eficiência e a competitividade da economia nacional. Além disso, o plano propõe uma mudança na matriz de transporte de carga visando alcançar um maior equilíbrio na utilização dos diferentes modos (como pode ser visto na Figura 1 e no Quadro 3).



Nota: O relatório do Ministério de Minas e Energia – MME, lançado em 2012, apresenta como divisão modal do transporte de cargas brasileiro para o ano de 2010: 57% rodoviário, 25% ferroviário, 18% aquaviário e 0,1% aéreo, desconsiderando o modo dutoviário em sua análise (MME, 2012). Isso indica que a divisão modal identificada pelo PNLT de 2007 não sofreu alterações significativas neste período.

**Figura 1:** Divisão modal da matriz de transporte de carga brasileira.

Fonte: elaborado com base em MT (2007).

Analisando o Quadro 3, percebe-se que houve um aumento de 246% no montante total de investimentos previstos na revisão do plano, sendo incluída a aplicação de recursos em infraestrutura dutoviária. Destaca-se que, embora a intenção do PNLT seja fomentar os modos aquaviário e ferroviário, é o setor rodoviário que concentra a maior parcela de investimentos (43% do total), na primeira versão lançada em 2007. Contudo, quando se consideram os modos hidroviário, portuário e ferroviário em conjunto, estes passam a acumular 51% do total.

Além disso, nota-se que, após as revisões do plano, o modo ferroviário passou a concentrar a maior parte dos investimentos previstos (44,8%), seguido pelo rodoviário com 30,8%. Na análise conjunta dos modos aquaviários e ferroviários, estes passaram a concentrar 63% do total de investimentos.

**Quadro 3:** Investimentos previstos pelo PNLT, por modo de transporte

Vetores logísticos <sup>(3)</sup>	MODO DE TRANSPORTE (x R\$ 1.000) <sup>(4)</sup>										
	Aeroportuário		Ferroviário		Hidroviário		Portuário		Rodoviário		Dutoviário <sup>(2)</sup>
	2007	Revisão	2007	Revisão	2007	Revisão	2007	Revisão	2007	Revisão	Revisão
Amazônico	532.060	1.492.122	-( <sup>1</sup> )	19.942.000	6.026.570	8.830.487	983.000	2.568.160	9.862.894	27.544.818	-( <sup>1</sup> )
Centro Norte	118.180	832.029	6.660.980	7.817.530	3.909.259	3.371.467	1.046.150	2.860.818	4.182.500	4.645.243	1.571.700
Nordeste Setentrional	2.714.370	3.682.593	6.907.522	10.250.700	276.610	176.820	2.338.660	5.634.020	7.289.130	19.671.560	500.000
Nordeste Meridional	94.590	898.499	4.953.024	13.350.170	280.016	476.613	946.895	2.918.547	10.226.147	17.350.628	-( <sup>1</sup> )
Leste	2.379.130	3.868.675	11.857.021	20.663.360	-( <sup>1</sup> )	7.706.000	6.944.970	23.341.970	13.898.284	21.311.425	290.000
Centro Sudeste	3.088.220	10.097.381	8.069.513	97.356.100	125.834	1.610.915	9.188.070	10.207.519	18.573.540	22.464.683	-( <sup>1</sup> )
Sul	767.840	1.587.213	12.167.489	20.586.710	2.187.444	212.400	3.721.155	8.373.108	10.157.378	17.710.162	-( <sup>1</sup> )
Total (R\$ 1000)	9.694.390	22.458.511	50.555.549	189.966.570	12.805.732	22.384.702	25.168.900	55.904.142	74.189.873	130.698.519	2.361.700
Notas	(1) “-“ Significa que não são previstos investimentos neste modo, para esta região; (2) Na primeira versão do plano não são previstos investimentos no modo dutoviário; (3) Vetores logísticos são espaços territoriais onde há uma dinâmica socioeconômica mais homogênea sob os pontos de vista de: produções; deslocamentos preponderantes nos acessos a mercados e exportações; interesses comuns da sociedade; patamares de capacidades tecnológicas e gerenciais equivalentes e problemas e restrições comuns (COSTA, 2014). (3) A distribuição geográfica dos vetores logísticos pode ser acessada em: < <a href="http://www2.transportes.gov.br/bit/01-inicial/pnlt.html">http://www2.transportes.gov.br/bit/01-inicial/pnlt.html</a> >. (4) Englobam investimentos em terminais de integração de carga e passageiros.										

Fonte: MT (2007, p.18 e 2014c)

Dessa forma, pode-se afirmar que há uma ênfase nos projetos voltados para os modos aquaviário e ferroviário, além daqueles que promovam integração com o modo rodoviário (terminais de integração e transbordo). Deseja-se fomentar o uso dos modos aquaviário e ferroviário em função da eficiência energética e produtividade destes modos nos fluxos que envolvem maiores quantidades e distâncias (MT, 2007).

Assim, acredita-se que propor um modelo de localização-alocação para CILs, usando a base de dados do PNLТ, auxiliará no alcance dos objetivos estratégicos de longo prazo do governo federal para o setor de transportes brasileiro.

No que diz respeito aos planos e programas estaduais, pode-se afirmar que alguns governos estaduais seguiram a mesma orientação do governo federal de integração e visão sistêmica do setor de transporte. Foram lançados os PELTs, os quais têm como objetivo guiar os investimentos e a definir as ações prioritárias do setor, em seus respectivos estados.

Cabe destacar que, durante a revisão de literatura, não foram encontrados PELTs referentes a todas as unidades da federação, ademais, alguns - como o Rumos, do Rio Grande do Sul - estão passando por revisões. Além disso, embora o PNLТ tenha influência na elaboração destes planos estaduais, o PELT da Bahia e o do Rio Grande do Sul foram desenvolvidos antes do lançamento deste plano.

Assim, para melhor direcionar o modelo de localização-alocação de CILs que se propõe neste estudo, torna-se necessário também compreender o conteúdo dos PELTs: os direcionamentos estratégicos estaduais, os modos de transporte privilegiados e os projetos de investimentos em infraestrutura. Dessa forma, o Quadro 4, sintetiza as principais características dos planos estaduais encontrados na literatura especializada.

Analisando o Quadro 4, nota-se que todos os PELTs estudam alternativas para o transporte de cargas englobando, pelo menos, três diferentes modos de transportes; sendo que estão previstas obras para os modos rodoviário, aquaviário e ferroviário em todos os planos analisados. Os investimentos em infraestrutura para o modo rodoviário são justificados pela condição das estradas brasileiras, especialmente daquelas que não estão sob contrato de concessão, ser considerada ruim (conforme CNT, 2013). Já o investimento nos demais modos está alinhado aos objetivos do PNLТ de readequação da matriz de transportes de carga brasileira.

**Quadro 4:** Síntese dos planos e programas estaduais de transportes encontrados na literatura

Plano	Ano de início/publicação	Horizonte de planejamento	Abrangência Geográfica	Elaboração		Transporte		Implementação	Aspectos Contemplados	
				Setor Público	Setor Privado	Passageiros	Cargas		Infraestrutura	Modos de transporte/ Intermodalidade
Bahia	2004	2020	Estado da Bahia.  Pouca evidência de integração.	X		X	X	Parcial	1) Diagnóstico da oferta e demanda	i. Rodoviário ii. Ferroviário iii. Aéreo iv. Aquaviário (incluindo navegação interior) Aborda a questão de postos e terminais de pesagem e fiscalização em rodovias
Rio Grande do Sul	2006	2015	Nove regiões que contemplam todo o estado, além de integração com outros estados e exterior.	X		X	X	Parcial	1) Diagnóstico da oferta e demanda 2) Impacto socioeconômico 3) Arranjo institucional	i. Rodoviário ii. Ferroviário iii. Aéreo iv. Aquaviário (incluindo navegação interior) v. Dutoviário Prevê a implantação de CIL, armazéns e outros terminais como portos.
Minas Gerais	2006	2023	Todo o estado. Prevê a integração com outros estados e exterior.	X		X	X	Parcial	1) Diagnóstico da oferta e demanda 2) Impacto socioeconômico 3) Impacto ambiental 4) Arranjo institucional	i. Rodoviário ii. Ferroviário iii. Aquaviário (navegação interior) iv. Dutoviário Considera também terminais de transbordo e armazenagem
Goiás	2007	2020	Todo o estado e a integração com outros estados e exterior.	X		X	X	Parcial	1) Diagnóstico da oferta e demanda 2) Impacto socioeconômico 3) Impacto ambiental 4) Arranjo institucional	i. Rodoviário ii. Ferroviário iii. Aquaviário iv. Aéreo

Plano	Ano de início/ publicação	Horizonte de planejamento	Abrangência Geográfica	Elaboração		Transporte		Implementação	Aspectos Contemplados	
				Setor Público	Setor Privado	Passageiros	Cargas		Infraestrutura	Modos de transporte/ Intermodalidade
Rio Grande do Norte	2008	2025	Todo o estado e a integração com outros estados e exterior.	X		X	X	Não implementado	1) Diagnóstico da oferta e demanda	i. Rodoviário ii. Ferroviário iii. Aquaviário iv. Aéreo
Paraná	2010	2020	Todo o estado e a integração com outros estados e exterior.		X	X	X	Parcial	1) Diagnóstico da oferta e demanda	i. Rodoviário ii. Ferroviário iii. Aquaviário iv. Aéreo
Espírito Santo	2010	2020	Todo o estado e a integração com outros estados e exterior.	X			X	Parcial	1) Diagnóstico da oferta e demanda 2) Impacto socioeconômico 3) Arranjo institucional	i. Rodoviário ii. Ferroviário iii. Aquaviário  Prevê a implantação de plataformas logísticas para intermodalidade
Pará	2011	2031	Todo o estado e a integração com outros estados e exterior.	X		X	X	Parcial	1) Diagnóstico da oferta e demanda 2) Impacto socioeconômico 3) Impacto ambiental 4) Arranjo institucional	i. Rodoviário ii. Ferroviário iii. Aquaviário iv. Aéreo  Considera também terminais de transbordo e armazenagem
Ceará <sup>1</sup>	2012	-	-	X		X	X	Não implementado	1) Diagnóstico da oferta e demanda	i. Rodoviário ii. Ferroviário iii. Aquaviário iv. Aéreo

Plano	Ano de início/ publicação	Horizonte de planejamento	Abrangência Geográfica	Elaboração		Transporte		Implementação	Aspectos Contemplados	
				Setor Público	Setor Privado	Passageiros	Cargas		Infraestrutura	Modos de transporte/ Intermodalidade
Santa Catarina	2013	2015	Todo o estado e a integração com outros estados e exterior.	X		X	X	Não implementado	1) Diagnóstico da oferta e demanda 2) Impacto socioeconômico 3) Arranjo institucional	i. Rodoviário ii. Ferroviário iii. Aquaviário iv. Aéreo
Rio de Janeiro	2013	2040	Todo o estado, além da integração com outros estados e exterior.				X	Não implementado	1) Diagnóstico da oferta e demanda 2) Impacto socioeconômico 3) Impacto ambiental	i. Rodoviário ii. Ferroviário iii. Aquaviário Prevê a implantação de plataformas logísticas para intermodalidade

Fonte: elaborado com base em GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA (2004), GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (2006), GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (2008), SEINFRA (2011), GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ (2010), GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (2009), GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ (2010), LUNA *et al.* (2011), GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ (2012), GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA (2013) e GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (2013).

Destaca-se que, embora os programas tenham objetivos diversos, em função das diferentes disfunções apresentadas em cada estado, os planos do Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Espírito Santo, Pará e Rio de Janeiro já indicam a importância da implantação de terminais de transbordo e armazenagem para tornar o sistema de transporte de cargas mais eficiente.

Além disso, é importante ressaltar que os planos do Rio Grande do Sul, do Espírito Santo e do Rio de Janeiro já abordam especificamente o conceito de plataformas logísticas – tipo mais especializado de CIL, como apresentado na Seção 3.1 – e/ou terminais de transbordo visando à integração modal, embora nenhuma tenha sido implementada ainda, conforme demonstrado por GUIMARÃES *et al.* (2014).

Dessa forma, ao longo deste capítulo, pôde-se notar uma reorientação do governo federal no que diz respeito ao planejamento do setor de transportes, tornando-o sistêmico e integrado. Os planos apresentados demonstram que tanto os governos federais quanto os estaduais sinalizam a importância da intermodalidade, a qual requer terminais de integração – os CILs – localizados em pontos estratégicos do território nacional.

Além disso, COSTA (2014) explica que o planejamento governamental tem, cada vez mais, se norteado pelo conceito de eficiência no funcionamento dos sistemas viários e seus pontos de conexão logística, buscando, portanto, uma otimização nos custos totais de transporte. Dessa forma, não só a implantação como também a definição da localização de pontos concentradores de carga torna-se relevante, pois a localização na rede tem caráter estratégico para o atendimento da demanda e a atração de cargas.

Assim, o Capítulo 3 está dedicado à: (1) discussão sobre intermodalidade, encontrada na literatura científica; (2) definição do que se entende por CILs; e, especialmente, (3) apresentação de modelos de localização-alocação de facilidades, os quais embasaram a elaboração do modelo matemático de localização de CILs desenvolvido nesta dissertação.

### 3 MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS À LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO DE TERMINAIS INTERMODAIS

Este capítulo tem como objetivo apresentar o levantamento dos modelos matemáticos aplicados à localização-alocação de terminais intermodais encontrados na literatura científica que serviram como base para a elaboração do modelo proposto neste trabalho.

Inicialmente, cabe destacar que as redes de transportes são complexas, pois são formadas por diferentes elementos associados a cada um dos elos do sistema de transporte: via, veículo, terminal e controle. Assim, embora muitas vezes haja mais de um modo de transporte disponível em determinada região, raramente eles são usados em conjunto (BHATTACHARYA *et al.*, 2014). Acaba-se focando no transporte unimodal, baseado no modo rodoviário – a Figura 1 mostrou que, no Brasil, 58% do transporte de carga é feito por este modo – em vez de aproveitar a potencialidades do uso combinado de diferentes modos de transportes (WIEGMANS, 2010).

Na visão de BHATTACHARYA *et al.* (2014) isso acontece porque os agentes de transporte (transportadores, demandadores e empresas) buscam minimizar seus custos em vez de ter como objetivo aumentar os lucros da cadeia de suprimentos, como um todo. Além disso, em determinadas regiões não há estruturas que permitam a integração e transferência modal e/ou estas são ineficientes, embora AMARAL *et al.* (2012) afirmem que eficiência do transporte intermodal depende não apenas da existência de diferentes modos de transporte, mas, também, de estruturas de apoio, como terminais intermodais (CILs).

Ademais, MEISEL *et al.* (2013) explicam que o transporte intermodal enfrenta desafios, tais como: (1) requer esforço para coordenar as atividades que envolvem diferentes agentes; (2) corre-se o risco de ter longos tempos de entrega, especialmente no transporte porta-a-porta; e, (3) pode ter custos adicionais ligados ao frete ou a operação de transbordo os quais podem, em determinadas situações, superar os ganhos de escala associados à intermodalidade. Neste último caso, os autores apontam como exemplo o estudo de BEHRENDTS e FLODÉN (2012).

Entretanto, é importante destacar que, em situações em que os pontos de produção e consumo estão tão distantes geograficamente, a economia de escala supera os custos de transbordo e de frete, tornando o transporte multimodal mais atrativo (KIM e VAN WEE, 2011, MEISEL *et al.*, 2013). Isso acontece no Brasil, em função das suas

dimensões continentais e da dispersão entre as fontes de oferta e demanda (AMARAL *et al.* 2012).

Dessa forma, acredita-se que a implantação de CILs seria relevante para que se alcançassem os objetivos de intermodalidade e reequilíbrio da matriz brasileira de transporte de carga, conforme apontado pelo PNLT e alguns PELTs, como o do Espírito Santo (GALLONI, 2006; GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, 2009; GUIMARÃES *et al.*, 2014). Além disso, tais estruturas poderiam permitir o aumento da eficiência do setor por conta dos ganhos de escala associados ao uso de transporte de maior capacidade. Portanto, faz-se necessário defini-las, antes de apresentar os modelos matemáticos que serviram de base para elaboração do presente estudo.

Assim, este capítulo está dividido em três segmentos: (1) conceituação de centros de integração logística; (2) descrição dos modelos matemáticos de localização-alocação que embasaram o desenvolvimento da modelagem matemática detalhada no Capítulo 4; e, (3) apresentação do procedimento metodológico adotado nesta pesquisa.

### **3.1 Conceituação de centros de integração logística**

A pesquisa bibliográfica demonstrou que uma variedade de nomenclaturas tem sido utilizada para se referir a diferentes tipos de CILs. Dentre elas, destacam-se: centro de distribuição, porto seco/EADI, zona de atividades logísticas portuárias – ZALs, centro/terminal de carga, polo logístico, *freight villages*/plataformas logísticas (COLIN, 1996; POSCHET *et al.*, 2000; BOOZ ALLEN HAMILTON, 2004; EUROPLATFORMS, 2004; GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2006; BOILE *et al.*, 2009; HIGGINS e FERGUSON, 2011; SPRICIGO e SILVA, 2011). Contudo, demonstrou também que não há consenso entre os autores em relação a estas definições.

Segundo HIGGINS e FERGUSON (2011, p.27), a falta de padronização destes termos acontece por duas principais razões: (1) a logística intermodal é um campo relativamente novo; e, (2) a própria logística evoluiu rapidamente com a mudança tecnológica. Além disso, questões relacionadas à disponibilidade modal, à função de mercado e intensidade, à regulação e governança criam circunstâncias únicas à região analisada. Segundo os autores, isso faz com que muitas das abordagens existentes sejam isoladas, estando limitadas no que diz respeito ao escopo, tipo de análise e aplicação.

Dessa forma, apresentam-se nesta seção, os dois tipos “extremos” de CILs – terminais de transbordo e plataformas logísticas – para que se possa compreender tanto o

funcionamento de uma estrutura simplificada quanto de uma estrutura complexa, estando as demais definições entre essas duas tipologias.

- **Terminais de transbordo (intermodais)**

SIRIKIJPANICHKUL e FERREIRA (2005) definem terminais intermodais de carga como um dos elementos-chaves da rede intermodal, que funcionam como pontos de transferência de carga de um modo de transporte para outro. Assim, assumiu-se, nesta dissertação, que terminais de transbordo são estruturas simplificadas cujo objetivo é proporcionar a transferência modal. Não são consideradas, portanto, áreas de armazenagem que permitam formação de estoque, embora haja espaço para consolidação de carga viabilizando o uso de modos de transporte de maior capacidade e, conseqüentemente, ganhos de escala a isso associado. Tampouco foram consideradas facilidades para agregação de valor aos produtos, as quais poderiam ser associadas às áreas dos terminais, ou qualquer outro tipo de serviço associado.

Na literatura pesquisada foram encontrados trabalhos sobre localização-alocação de estruturas que se assemelham a terminais de transbordo: os *hubs* (HAMACHER e MEYER, 2006; SIRIKIJPANICHKUL *et al.*, 2007; ALMUR e KARA, 2008; ISHFAQ e SOX, 2011; ALMUR *et al.*, 2012ab; CAMPBELL e O'KELLY, 2012; FARAHANI *et al.*, 2013). A diferença entre eles é que os *hubs* são estruturas um pouco mais complexas, concentrando diferentes atividades, sendo o transbordo uma delas.

- **Plataformas logísticas**

A plataforma logística, por sua vez, pode ser entendida como: “*um empreendimento logístico de grande porte, que atenda a uma determinada área ou região, onde se concentram e realizam atividades voltadas à produção, transportes, logística e distribuição de mercadorias*” (SILVA *et al.*, 2013, p.242). Para tanto, deve-se utilizar uma mesma base de serviços, onde os diferentes atores – públicos ou privados - envolvidos se relacionem com objetivo de obter uma maior eficiência em suas operações (SILVA *et al.*, 2013 e 2014).

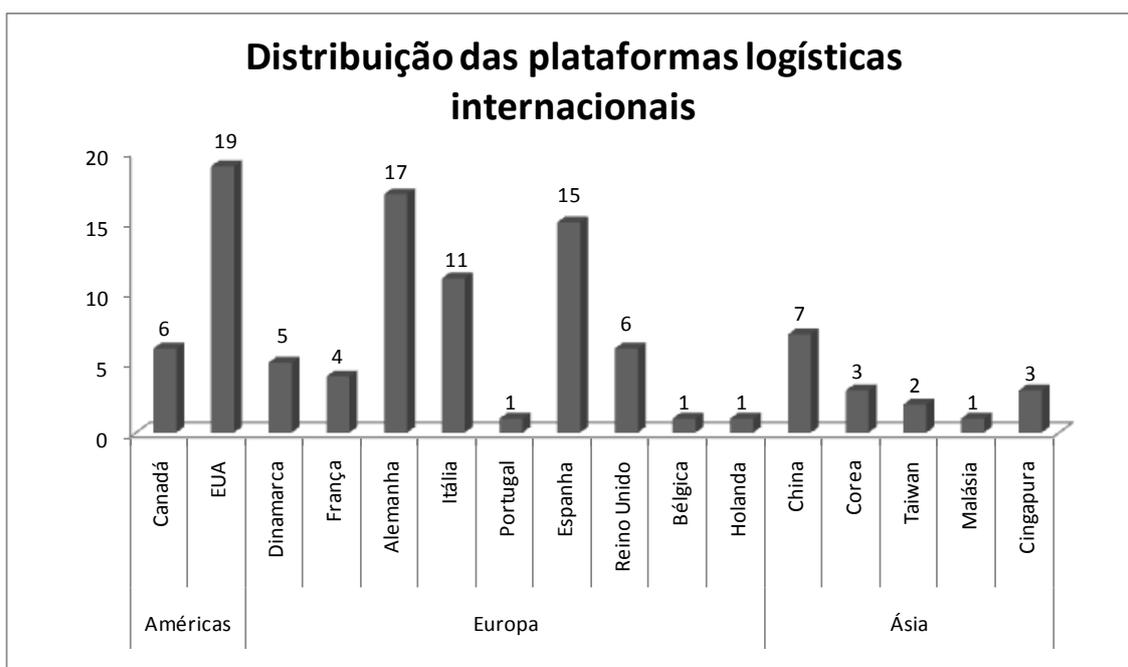
BOUDUIN (1996) e DUARTE (2004 e 2009) afirmam que esta estrutura tem como intuito melhorar a competitividade local e viabilizar as atividades logísticas, podendo contribuir para desburocratização e agilidade das operações aduaneiras. Além

disso, concentram atividades e funções técnicas de valor acrescido (MINISTÉRIO DE FOMENTO DA ESPANHA, 1999).

Assim, a plataforma pode ser dedicada à prestação de serviços logísticos a mercadorias em trânsito nacional e/ou internacional, reunindo diferentes operadores logísticos responsáveis pelas cargas que por ela circulam (EUROPLATFORMS, 2004). Ademais, tais estruturas contribuem para a cadeia de valor, uma vez que prestam serviços de valor agregado na rede de transporte e/ou serviços pontuais à mercadoria, às pessoas (clientes, usuários e trabalhadores), aos veículos e aos equipamentos (ROSA, 2004; ROSA e RATTON NETO, 2005).

Portanto, diferente dos terminais de transbordo, as plataformas logísticas são estruturas complexas que oferecem diferentes serviços, tais como: consolidação e desconsolidação de carga, ova e desova de contêineres, transbordo para modos de transporte de maior capacidade, agregação de valor etc. Além disso, podem possuir áreas de serviços de apoio destinadas aos usuários e operadores, como: hotéis, bancos, restaurantes, estacionamentos, escritórios, entre outros. Como exemplo, pode-se citar a plataforma logística de Zaragoza, na Espanha (PLAZA, 2014).

Destaca-se que o conceito de plataformas logísticas é difundido internacionalmente, como HIGGINS e FERGUSON (2011) apresentam em seu estudo (Figura 2).



**Figura 2:** Distribuição de Plataformas Logísticas ao redor do mundo

Fonte: Elaborado com base em HIGGINS E FERGUSON (2011)

Os autores mapearam 102 plataformas, distribuídas por quinze países, sendo que a maioria se concentra nos Estados Unidos (19), seguido pela Alemanha (17), Itália (11) e China (7), conforme apresentado na Figura 2. Nota-se, portanto, que as principais economias mundiais já têm plataformas logísticas em operação.

Assim, segundo SEGPLAN (2013), a implantação de CILs do tipo plataformas logísticas no Brasil, justifica-se por três razões: (1) dão apoio às mais variadas atividades de movimentação de carga, de serviços e permitem a criação de valor; (2) concentram as estruturas necessárias para que se alcancem os objetivos de eficácia logística e integração; e, (3) têm por objetivo melhorar a concorrência entre as empresas e desenvolver a economia.

Dessa forma, os CILs podem ser entendidos como estruturas fundamentais para realizar o que se propõem no planejamento governamental do setor, especialmente, para o alcance dos objetivos do PNLT. Contudo, por fator de simplificação, considerou-se o terminal de transbordo como CIL para aplicação do modelo matemático proposto. Portanto, não são feitas considerações sobre agregação de valor na estrutura nem sobre estocagem, conforme detalhado no Capítulo 5, o qual é dedicado a apresentação dos parâmetros usados para aplicação do modelo proposto nesta dissertação.

Apresentadas as características básicas dos CILs objetos deste estudo, a Seção 3.2 detalha os modelos matemáticos que embasaram a modelagem matemática desenvolvida no Capítulo 4.

### **3.2 Modelagem matemática de referência**

A localização de terminais é um dos fatores relevantes para o sucesso do transporte de carga intermodal e, por isso, precisa ser considerada cuidadosamente (SIRIKIJPANICHKUL e FERREIRA, 2005). DASKIN *et al.* (2003) consideram-na crítica também para a eficiência da cadeia de suprimentos, uma vez que as decisões sobre transporte e formação de estoque são estratégicas para o desempenho empresarial. Além disso, tem-se o fato de que mudar a localização de determinada facilidade é algo que requer tempo (estratégia de longo prazo) e recursos financeiros, além de poder criar inconvenientes com os clientes (SLACK *et al.*, 2009).

Segundo o documento do *Departamento de Organización de Empresas, Economía Financiera e Contabilidad* (2013), a localização de instalações é um tema relevante, pois: (1) requer grande investimento que pode não ser recuperado (parcial ou totalmente), caso haja necessidade de alterar seu posicionamento geográfico; e (2)

afetam a competitividade e capacidade da empresa e, conseqüentemente, sua estrutura de custos e sua rentabilidade. Isso acontece porque a localização impacta no nível de serviço oferecido ao cliente, tempos de entrega, entre outros fatores.

Dessa forma, SIRIKIJPANICHKUL e FERREIRA (2005) afirmam que têm sido desenvolvidos modelos matemáticos para avaliar a localização ótima de terminais. Entretanto, MAPA e LIMA (2012) explicam que problemas de localização-alocação de instalações são, em geral, complexos, pois envolvem um número considerável de variáveis e volumes de dados. Assim, estes problemas e suas modelagens matemáticas têm se tornado relevante no campo da pesquisa operacional (MACHARIS e BOTEKONING, 2004; KLOSE e DREXL, 2005).

Segundo KLOSE e DREXL (2005) há uma diversidade de aplicações da pesquisa operacional, tanto no setor privado quanto público, dos quais muitos modelos de localização e alocação surgiram. Estes variam de modelos lineares simples, com estágio e produto único, não-capacitados, determinísticos a modelos probabilísticos não lineares, incluindo desenvolvimento de algoritmos.

Neste sentido, a literatura pesquisada apresenta diferentes tipos de modelos de localização que podem ser aplicados para determinar a região de instalação de um CIL, cujos principais estão descritos no Quadro 5.

**Quadro 5:** Descrição geral dos modelos de localização

<b>Tipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Descrição</b>
Problema de cobertura	Cobertura de Conjuntos	Deseja-se determinar o número mínimo de instalações necessárias (bem como suas localizações) para que cada ponto de demanda seja coberto por, pelo menos, uma facilidade. Busca, então, minimizar o número de facilidades necessárias, tendo em vista a distância (ou o tempo de viagem). Aplicado para determinar a localização de serviços públicos como postos de saúde e escolas.
	Máxima Cobertura	Tendo em vista uma quantidade pré-determinada de instalações (seja por conta de restrições orçamentárias ou qualquer outro fator), deseja-se determinar suas localizações de forma a maximizar o número de clientes cobertos pelo serviço. Diferente do anterior, neste modelo pode haver pontos de demanda que não são cobertos por nenhuma das facilidades abertas. É usado, por exemplo, na área de telecomunicações em que se deseja cobrir o máximo de usuários com um número pré-determinado de antenas/torres.
Problema de centro	Modelo de Centros	Deseja-se minimizar a máxima distância entre os pontos de demanda e a facilidade mais próxima, sendo considerado, portanto, um problema do tipo <i>min-max</i> . Dessa maneira, busca-se localizar um número predeterminado de facilidades de forma que se atenda a toda a demanda e que distância entre facilidade e seu ponto de atendimento mais longínquo seja mínima. São aplicados a serviços de emergência, tais como estação de bombeiros e de ambulâncias.
	Anti-Centro	O objetivo é maximizar a distância mínima entre pontos de oferta e de demanda. Aplicada para localização de aterros sanitários e locais de incineração.

<b>Tipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Descrição</b>
Problema de medianas	Modelo de Medianas	Deseja-se localizar $p$ instalações nos vértices de uma rede e alocar a demanda a elas, de forma a minimizar as distâncias percorridas ou o custo total. O problema de medianas pode ser capacitado ou não. São aplicados para projetos de serviços logísticos e distribuição de cargas.
	Máxima Captura	É o problema das $p$ -medianas modificado, cujo objetivo é maximizar o número de novos clientes “capturados”, levando em consideração a presença de concorrentes.
	Localização de facilidades a custo fixo	É uma variante dos problemas das $p$ -medianas que incorpora os custos fixos (aquisição, construção) ao processo de decisão de localização de facilidades.
	Anti-Mediana	Deseja-se maximizar a distância média entre pontos de oferta e de demanda.
Localização - alocação	Modelo de Localização-Alocação	Localizam-se as instalações por um dos métodos já citados e alocam-se fluxos entre as facilidades e as demandas, simultaneamente.

Nota: Os problemas mencionados nesta tabela têm sua versão para localização de *hubs*, conforme KLOSE e DREXL (2005), ALMUR e KARA (2008) e CAMPBELL e O’KELLY (2012) apresentam em seus trabalhos.

Fonte: Elaborado com base em MAPA (2007) e COSTA (2014)

Destaca-se que o modelo desenvolvido no presente trabalho está inserido no grupo de problemas de localização-alocação, uma vez que tem como objetivo tanto indicar a localização de CILs quanto alocar os fluxos de carga nas conexões da rede (terminais integração e modos de transporte) de forma a minimizar o custo global de transportes, realizando transbordo.

Ainda sobre os modelos pesquisados, ALMUR e KARA (2008), ISHFAQ e SOX (2011), ALMUR *et al.* (2012a), CAMPBELL e O’KELLY (2012) e FARAHANI *et al.* (2013) estudam a localização e/ ou alocação de *hubs* intermodais.

ALMUR e KARA (2008) dedicam-se a uma revisão de literatura dos modelos de localização de *hubs* publicados de 1990 a 2001, enquanto CAMPBELL e O’KELLY fazem uma análise da evolução dos estudos nesta área, de 1986 a 2011.

Já ALMUR *et al.* (2012a) desenvolvem um artigo aplicado, estudando a localização de um *hub* multimodal (rodo-aéreo) na Turquia, por meio da aplicação de um algoritmo heurístico que otimize a alocação dos *hubs* e o custo de transporte.

ISHFAQ e SOX (2011) desenvolvem um modelo de múltipla-alocação baseada na abordagem da *p-hub* mediana, considerando os *trade-offs* entre os custos fixos e variáveis de transporte, além de restrições associadas ao tempo de serviço em cada par de origem-destino.

Destaca-se que em sua revisão de literatura, ISHFAQ e SOX (2011) apresentam os estudos de ARNOLD *et al.* (2001), ARNOLD *et al.* (2004), GROOTHEDDE *et al.* (2005), RACUNICA e WYNTER (2005) e LIMBOURG e JOURQUIN (2009) que

também trabalham com a localização de *hubs* intermodais. Além dos critérios tradicionais (tempo e custo de transporte), estes estudos consideram os custos fixos da localização, tempo de serviço, tipo de modo de transporte e de *hubs* utilizados, além de informações sobre como é o processo de consolidação da carga.

CRAINIC e LAPORTE (1997), por sua vez, apresentam modelos de localização de instalações intermodais, em geral. Os autores discorrem sobre alguns problemas relacionados ao transporte intermodal de carga apresentando os modelos matemáticos que consideram mais adequados para resolvê-los. Nesta linha, BHATTACHARYA *et al.* (2014) estudam a localização de terminais intermodais indianos, tendo como intuito otimizar os custos de transporte. Para tanto, os autores propõem um modelo envolvendo variáveis como: tempo, custo, disponibilidade de modos, fluxo de produtos, localização dos consumidores, capacidade de armazenamento etc.

KLOSE e DREXL (2005) dedicam-se a análise de modelos de localização de sistemas de distribuição. Além dos modelos tradicionais ( $p$ -mediana,  $p$ -centro e cobertura), eles apresentam uma modelagem semelhante ao do ISHFAQ e SOX (2011) que trabalha com custos fixos e variáveis.

Em seguida, os autores discorrem sobre os seguintes modelos: (1) capacitado, o qual leva em conta a capacidade de armazenamento das instalações; (2) multicamadas, que considera que o sistema de distribuição acontece em diferentes níveis hierárquicos instalações (*multi-stage facility location*); (3) multiproduto, em que a demanda é desagregada por produto uma vez que cada um deles pode requerer capacidades e ter especificidades diferentes, o que impacta no tempo e no custo; (4) dinâmicos, que considera as variáveis de decisão (custo, demanda etc.) variáveis no tempo; (5) probabilísticos, que lidam com a incerteza; e, (6) multiobjetivos, que tem mais de um objetivo a ser otimizado, podendo ser: minimizar os custos de distribuição, reduzir o nível de investimentos em novas instalações, proporcionar o maior nível de serviço ao consumidor (relacionado à distância ou tempo entre a instalação e o cliente), usar as instalações existentes de forma balanceada, entre outros.

Por fim, SIRIKIJPANICHKUL e FERREIRA (2005) e SIRIKIJPANICHKUL *et al.* (2007) são trabalhos correlacionados que tem como objetivo desenvolver e aplicar um modelo multiobjetivo para determinar a localização de terminais intermodais de carga no sul da Austrália. É multiobjetivo, pois deseja satisfazer a necessidade de todos os atores envolvidos (*stakeholders*), sendo que a função objetivo geral inclui a satisfação de funções para cada um deles (operadores, usuários e comunidade).

Dessa forma, nota-se que os estudos sobre localização-alocação têm diferentes enfoques. Sendo assim, o Quadro 6 apresenta uma consolidação feita por MEISEL *et al.* (2013) sobre alguns trabalhos situados na esfera do planejamento estratégico, envolvendo o transporte multimodal/intermodal - na qual o presente trabalho está inserido. Para ter acesso a análise de trabalhos que envolvem o planejamento de transporte multimodal de carga em seus três níveis – estratégico, tático e operacional – sugere-se a leitura de STEADISEIFI *et al.* (2014).

**Quadro 6:** Outros trabalhos sobre localização de terminais intermodais

<b>Autor</b>	<b>Modos de Transporte</b>	<b>Entrega direta</b>	<b>Consolidação de carga</b>	<b>Multi-commodities</b>	<b>Objetivo de minimização</b>	<b>Método</b>
Almur <i>et al.</i> (2012b)	Rodoviário e aéreo	Não	Não	Sim	Custo	Programação linear inteira mista
Arnold <i>et al.</i> (2004)	Rodoviário e ferroviário	Sim	Não	Sim	Custo	Heurístico
Isfaq e Sox (2010)	Rodoviário, ferroviário e aéreo	Sim	Sim	Sim	Custo	Busca Tabu
Limbourg e Jourquin (2009)	Rodoviário, ferroviário e aquaviário	Sim	Não	Não	Custo	<i>Heuristic Decomposition</i>
Meng e Wang (2011)	Rodoviário, ferroviário e aquaviário	Sim	Sim	Sim	Custo	Algoritmo Genético
Racunica e Wynter (2005)	Ferrovário	Sim	Não	Não	Custo	Programação linear inteira mista
Sörensen <i>et al.</i> (2012)	Não especificado	Sim	Não	Sim	Custo	GRASP

Fonte: Adaptado de MEISEL *et al.* (2013)

Apresentados os trabalhos analisados para a elaboração da presente dissertação, destaca-se, nas Seções 3.2.1 e 3.2.2, os dois principais modelos que influenciaram na modelagem matemática proposta no Capítulo 4, além do modelo de COSTA (2014).

### **3.2.1** *Modelo matemático de DUBKE (2006)*

DUBKE (2006) propõe um modelo matemático de localização-alocação de terminais logísticos, aplicando-o ao escoamento da soja brasileira. Para tanto, são considerados: a localização dos fornecedores de insumos (origem); as áreas candidatas à instalação dos terminais de escoamento de soja e pontos de demanda (destinos). Cabe mencionar que, diferente do modelo matemático proposto nesta dissertação, a autora

considera agregação de valor à soja: ou seja, trabalha com um produto de entrada – soja a granel – e três produtos de saída - soja, farelo e óleo de soja.

Como definições iniciais, DUBKE (2006) considera:  $J$  o conjunto de potenciais locais para receberem terminais,  $I$  o conjunto de pontos de origem,  $K$  o conjunto de pontos de destino,  $M$  o conjunto de insumos,  $Q$  um conjunto de produtos, e  $S$  um conjunto de serviços disponíveis em cada terminal  $j \in J$ .

Além disso,  $c_{ijm}^{inbound}$  representa o custo unitário de transporte *inbound* (entrada) do insumo  $m \in M$  de uma origem  $i \in I$  para uma facilidade  $j \in J$ , e  $c_{jkk}^{outbound}$  o custo unitário de transporte *outbound* (saída) do produto  $q \in Q$  de uma facilidade  $j \in J$  para o destino  $k \in K$ .

Assim, define-se que uma facilidade  $j \in J$  possui um custo fixo de instalação  $f_j$ , um custo fixo  $g_{sj}^{serv}$  referente à utilização do serviço  $s \in S$ , um custo  $\alpha_{jsm}^{serv}$  variando em função do volume do insumo  $m \in M$  utilizando o serviço  $s \in S$ , uma capacidade instalada total  $W_j$ , e ainda uma capacidade instalada  $w_{js}$  associada ao serviço  $s \in S$ . Considera também que o ponto de origem  $i \in I$  tem uma oferta máxima do insumo  $m \in M$  representada por  $S_{im}$ .

Tem-se ainda que:  $p_{qk}$  é o preço unitário do produto  $q \in Q$  comercializado no ponto de destino  $k \in K$ . Cada ponto de destino  $k \in K$  apresenta uma demanda  $h_{qk}$  do produto  $q \in Q$  e  $\beta_{jismq}$  é um coeficiente associado ao insumo  $m \in M$  que sofreu alteração de volume para obter o produto  $q \in Q$ , por meio do serviço  $s \in S$  realizado na facilidade  $j \in J$ .

Com base nas definições acima, considera-se:

- $x_{isjm}^{inbound} \geq 0$  : variável de decisão que representa o fluxo do insumo  $m \in M$  enviado do ponto de origem  $i \in I$  à facilidade  $j \in J$  para realização do serviço  $s \in S$ .
- $x_{jksq}^{outbound} \geq 0$ : variável de decisão que representa a quantidade do produto  $q \in Q$  resultante do serviço  $s \in S$  realizado na facilidade  $j \in J$  para o destino  $k \in K$ ;
- $y_j \in \{0,1\}$ : variável binária que indica a abertura ou não da facilidade  $j \in J$ . Assim: se  $y_j = 1$ , deve-se abrir a facilidade  $j$ ; caso contrário ( $y_j = 0$ ), esta facilidade não deve ser aberta.

- $y_{js}^{serv} \in \{0,1\}$ : variável binária que indica se o serviço  $s \in S$  será ou não oferecido na facilidade aberta. Se  $y_{js}^{serv} = 1$ , o serviço deve ser oferecido na facilidade  $j \in J$ ; caso contrário ( $y_{js}^{serv} = 0$ ), não será oferecido.

Desta forma, DUBKE (2006) propõe um modelo de otimização, descrito a seguir, que busca maximizar o lucro total, determinando quais facilidades devem ser abertas (localizações potenciais), além dos fluxos *inbound* e *outbound*.

$$\begin{aligned}
\text{Maximizar } v(\text{PLMultiProdutoDubke}) = & \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{q \in Q} \sum_{s \in S} p_{kq} x_{jksq}^{\text{outbound}} \\
- \sum_{j \in J} & \left( \begin{aligned} & f_j y_j + g_{js}^{serv} y_{js}^{serv} + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} c_{ijm}^{\text{inbound}} \sum_{s \in S} x_{ijsm}^{\text{inbound}} \\ & + \sum_{s \in S} \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \alpha_{jism}^{serv} x_{ijsm}^{\text{inbound}} \sum_{k \in K} \sum_{q \in Q} c_{jkq}^{\text{outbound}} \sum_{s \in S} x_{jksq}^{\text{outbound}} \end{aligned} \right) \quad (1)
\end{aligned}$$

**Sujeito a:**

$$\sum_{j \in J} \sum_{s \in S} x_{ijsm}^{\text{inbound}} \leq S_{im} \quad \forall i \in I, m \in M \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{s \in S} x_{jksq}^{\text{outbound}} = h_{kq} \quad \forall k \in K, q \in Q \quad (3)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{i \in I} x_{ijsm}^{\text{inbound}} \leq w_{js} y_{js}^{serv} \quad \forall j \in J, s \in S \quad (4)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} x_{ijsm}^{\text{inbound}} \leq W_j y_j \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$y_{js}^{serv} \leq y_j \quad \forall j \in J, s \in S \quad (6)$$

$$\beta_{jismq} \sum_{i \in I} x_{ijsm}^{\text{inbound}} = \sum_{k \in K} x_{jksq}^{\text{outbound}} \quad \forall j \in J, s \in S, m \in M, q \in Q \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} y_j \leq p \quad (8)$$

$$x_{ijsm}^{inbound} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, s \in S, m \in M \quad (9)$$

$$x_{jksq}^{outbound} \geq 0 \quad \forall j \in J, k \in K, s \in S, q \in Q \quad (10)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (11)$$

$$y_{js}^{serv} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, s \in S \quad (12)$$

Portanto, a função objetivo (1) busca maximizar o lucro total, considerando a receita associada à quantidade que passa pela facilidade na instalação (com ou sem agregação de valor), descontados todos os custos associados. As restrições (2) garantem que a soma de todo o volume de insumo  $m \in M$  que se destina à realização do serviço  $s \in S$  na facilidade  $j \in J$  será menor ou igual à quantidade do insumo  $m \in M$  ofertado na origem  $i \in I$  (para garantir que a capacidade de oferta não será desrespeitada). Já as restrições (3) asseguram que a demanda do destino  $k \in K$  seja satisfeita, assumindo-se que o volume total do produto  $q \in Q$  que “sai” da facilidade  $j \in J$  será igual ao total demandado em  $k \in K$ .

As restrições (4) garantem que a soma do fluxo *inbound* de insumos  $m \in M$  enviado à facilidade  $j \in J$  para realização do serviço  $s \in S$  seja menor ou igual à capacidade de atendimento deste serviço nesta facilidade (para não haver formação de estoque de insumos para o serviço  $s \in S$ ). As restrições apresentadas em (5), por sua vez, asseguram que a soma de todos os insumos  $m \in M$  originados em  $i \in I$  e destinados à realização do serviço  $s \in S$  na facilidade  $j \in J$ , seja menor ou igual à capacidade total de atendimento total desta facilidade (para não haver formação de estoque de nenhum tipo de insumo).

As restrições (6) estabelecem que a variável de decisão  $y_{js}^{serv}$  só poderá receber 1 se a variável de decisão  $y_j$  for igual a 1, ou seja, não é possível oferecer um serviço se a facilidade não for aberta. As restrições (7) são responsáveis pela conservação de fluxo, ou seja, representam o equilíbrio entre toda a quantidade recebida e enviada pela facilidade  $j \in J$ .

Ressalta-se que há um parâmetro  $\beta_{jsmq}$  multiplicando o volume de insumos  $m \in M$  que serão transformados em produtos  $q \in Q$  na facilidade  $j \in J$ . Este coeficiente é adotado para situações em que o processamento ou beneficiamento represente qualquer alteração no volume transportado, tais como perdas associadas ao processo de

transformação. Neste caso, a quantidade de produtos que “sai” de determinada estrutura é menor que a quantidade de insumos que “entrou”, não implicando, entretanto, na formação de estoques (e sim, em perdas durante a agregação de valor ao produto).

Já a restrição expressa em (8) foi empregada por DUBKE (2006) para limitar em  $p$  o número de facilidades utilizadas, similar ao tradicional problema de  $p$ -medianas apresentado no Quadro 5. Por fim, as demais restrições estão associadas aos domínios das variáveis de decisão.

Nota-se, portanto, que o modelo proposto por DUBKE (2006) não possui uma restrição que garanta que as demandas par-a-par serão respeitadas. As restrições (2) e (3) determinam apenas que a demanda total será satisfeita – não importando de qual zona de origem o produto será enviado para satisfazer a demanda – e que não será excedida a capacidade de oferta. Dessa forma, o modelo desenvolvido neste trabalho proporciona um avanço no estudo feito pela autora.

Outra diferença é que ele considera a agregação de valor, ou seja, a transformação do produto/insumo que passa pela estrutura de integração em outros produtos diferentes do original. Isso foge ao escopo do que se propõe neste trabalho, mas seria uma sugestão para pesquisas futuras.

Ainda, no cenário de DUBKE (2006) há limitação de  $p$  facilidades, o que não é considerado na aplicação do modelo proposto, como detalhado no Capítulo 4. A única consideração feita é que são pré-selecionadas zonas candidatas a CILs e apenas estas poderão ser escolhidas pelo modelo. Mas, não há limitação relacionada ao número de facilidade a serem abertas.

### **3.2.2** *Modelo matemático de MEISEL et al. (2013)*

MEISEL *et al.* (2013) propõem, em seu trabalho, um modelo matemático envolvendo a capacidade de produção das plantas de origem e decisões sobre o transporte intermodal de uma cadeia de suprimentos, visando auxiliar no seu planejamento estratégico. Sua aplicação deu-se à produção e distribuição de mercadorias de uma empresa multinacional de produtos químicos que possui diferentes filiais espalhadas pela Europa Ocidental (Holanda, Bélgica, Alemanha, França e Itália), com foco no mercado consumidor da Ucrânia e Rússia. Os terminais intermodais disponíveis para consolidação e transbordo nas áreas de origem e destino são conhecidos e já estão estabelecidos.

Destaca-se que se trata de um modelo apenas de alocação, tendo em vista que os pontos de produção e consumo são determinados e terminais intermodais já estão estabelecidos e disponíveis para uso. A decisão consiste, então, em determinar quais as ligações serão usadas – e, conseqüentemente, a quantidade de produto a ser enviada por cada modo e por cada terminal intermodal – e o nível de estoque a ser mantido em cada período de planejamento da produção. Trata-se, portanto, de uma adaptação do problema clássico de transportes.

MEISEL *et al.* (2013) consideram uma rede de produção e distribuição composta por quatro camadas, onde:  $S$  é o conjunto produtores (empresas);  $O$  e  $D$  são os conjuntos de terminais intermodais que atendem os pontos de produção e consumo, respectivamente;  $C$  é o conjunto de clientes; e,  $P$  é o conjunto de produtos distribuído pelas empresas  $s \in S$ . Destaca-se que  $S$  e  $O$  estão localizados distantes geograficamente dos pontos  $D$  e  $C$ . Portanto,  $S$  pode atender diretamente a demanda de  $C$  ou pode utilizar o terminal intermodal  $O$ , mas não tem ligação com o terminal  $D$ .

Ao optar por usar a facilidade  $o \in O$ , necessariamente o produto  $p \in P$  precisará passar por, pelo menos, uma facilidade  $d \in D$ , pois não há ligações diretas entre  $O$  e  $C$ . Ressalta-se, entretanto, que o terminal intermodal  $o \in O$  pode estar interligado com qualquer terminal pertencente a  $O$  e, portanto, trocar e/ou consolidar mercadorias. O mesmo se aplica para terminais  $d \in D$ .

Destaca-se que todo o transporte direto entre  $s \in S$  e  $c \in C$  é feito pelo modo rodoviário, assim como entre os terminais  $d \in D$  e os clientes  $c \in C$ . Já o transporte entre terminais - seja para uma maior consolidação (entre terminais  $o \in O$  ou entre terminais  $d \in D$ ) - ou dos terminais da zona de produção  $o \in O$  para os da zona de consumo  $d \in D$  é feito exclusivamente pelo modo ferroviário.

Os autores explicam que, eventualmente, um fábrica  $s \in S$  pode estar ligada diretamente a um cliente  $c \in C$  por meio de um ramal ferroviário. Neste caso, a representação no problema considera a existência de um terminal fictício  $o \in O$  e, portanto, sem custos associados. Todos os parâmetros do modelo estão descritos no Quadro 7.

**Quadro 7: Parâmetros do modelo proposto por MEISEL *et al.* (2013)**

Item	Notação	Descrição
Rede	$S$	Conjunto produtores (empresas/fábrica)
	$O$	Conjunto de terminais intermodais localizados na área de produção
	$D$	Conjunto de terminais intermodais localizados na área de consumo
	$C$	Conjunto de clientes
	$P$	Conjunto de produtos
	$P_s$	Conjunto de produtos que podem ser produzidos nas empresas $s \in S$ , tendo em vista sua capacidade técnica ( $P_s \subseteq P$ )
	$A$	Conjunto de arcos de transporte rodoviário
	$B$	Conjunto de arcos do transporte ferroviário
	$T$	Conjunto de períodos dentro do horizonte de planejamento
	$d_{ij}$	Distância percorrida ao longo do arco $(i, j) \in A \cup B$
Capacidade e demanda <sup>1</sup>	$b_s$	Capacidade de produção da fábrica $s$ por período de tempo
	$a_{sp}$	Capacidade consumida pelo processo produtivo da fábrica $s$ para o produto $p$
	$n_{cpt}$	Demanda do cliente $c$ pelo produto $p$ no período de tempo $t$
	$l_{ip0}$	Estoque inicial do produto $p$ na facilidade $i \in S \cup D$
	$b^{FTL}$	Capacidade de carga de uma composição ferroviária
Serviço de transporte	D2D	Diretamente a origem $s \in S$ para o destino $c \in C$ pelo modo rodoviário (transporte porta-a-porta)
	FTL	Serviço ferroviário <i>full-train-load</i> , ou seja, é usado um trem inteiro para o transporte entre uma origem e um destino. Neste caso, o embarcador paga um preço fixo $c_{ij}^{FTL}$ pelo uso de uma composição ferroviária de capacidade $b^{FTL}$ (medida em unidades de transporte) pela conexão ferroviária $(i, j) \in B$ .
	LTL <sup>2</sup>	Serviço ferroviário <i>less-than-train-load</i> , ou seja, a composição ferroviária pode ser composta por cargas para diferentes destinos ou ainda, pode ser enviada de maneira incompleta (menos vagões do que a composição total). Neste artigo, definiu-se que o embarcador paga um preço $c_{ij}^{LTL}$ por unidade de transporte enviada pela conexão ferroviária $(i, j) \in B$ .
Taxas e custos	$g_{sp}$	Custo de preparação ( <i>setup</i> ) para produção do produto $p$ na fábrica $s$
	$h_{ip}$	Custo de formação/manutenção de estoque do produto $p$ na facilidade $i \in S \cup D$ por unidade de transporte e período
Taxas e custos	$c_{ij}^R$	Custo do transporte rodoviário por unidade de transporte embarcada no arco $(i, j) \in A$
	$c_{ij}^{LTL}$	Custo do transporte ferroviário por unidade de transporte embarcada na modalidade de serviço LTL no arco $(i, j) \in B$
	$c_{ij}^{FTL}$	Custo do transporte ferroviário por composição ferroviária fretada na modalidade de serviço FTL no arco $(i, j) \in B$
Variáveis de decisão	$u_{spt}$	Binário, referindo-se se o lote de produto é $p$ produzido na fábrica $s$ no período $t$
	$q_{spt}$	Quantidade de produto $p$ produzida na fábrica $s$ no período $t$ (tamanho do lote)
	$l_{ipt}$	Estoque do produto $p$ localidade $i \in S \cup D$ ao final do período $t$
	$x_{ijpt}$	Número de unidades de transporte do produto $p$ enviadas pelo arco $(i, j) \in A \cup B$ no período $t$
	$x_{ijt}^{LTL}$	Número de unidades de transporte enviadas no serviço LTL ferroviário pelo arco $(i, j) \in B$ no período $t$
	$y_{ijt}$	Número de composições ferroviárias fretadas passando pelo arco $(i, j) \in B$ no período $t$

Nota: (1) Medidas em unidades de transporte – TUs; (2) O operador ferroviário irá cobrar um custo  $c_{ij}^{LTL}$  por unidade transportada na modalidade LTL acima da média cobrada por unidade  $c_{ij}^{-FTL}$  na FTL (calculada pela divisão do custo fixo pela capacidade da composição ferroviária). Então,  $c_{ij}^{LTL} \geq c_{ij}^{-FTL}$ . Assim, fretar uma composição pode ser mais econômico se, pelo menos,  $\frac{c_{ij}^{-FTL}}{c_{ij}^{LTL}} b^{FTL}$  unidade de transporte forem enviadas conjuntamente em um mesmo *link* ferroviário  $(i, j) \in B$ .

Fonte: elaborado com base em MEISEL *et al.* (2013)

Assim, o modelo de otimização proposto por MEISEL *et al.* (2013) está descrito a seguir.

*Minimizar  $v(\text{PLMultiProdutoMeiseletal.})$*

$$\begin{aligned}
&= \sum_{s \in S} \sum_{p \in P_s} \sum_{t \in T} u_{spt} g_{sp} + \sum_{i \in S \cup D} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} l_{ipt} h_{ip} \\
&+ \sum_{(i,j) \in A} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} x_{ijpt} c_{ij}^R + \sum_{(i,j) \in B} \sum_{t \in T} (y_{ijt} c_{ij}^{\text{FTL}} + x_{ijt}^{\text{LTL}} c_{ij}^{\text{LTL}})
\end{aligned} \tag{13}$$

**Sujeito a:**

$$q_{spt} \leq b_s u_{spt} \quad \forall s \in S, p \in P_s, t \in T \tag{14}$$

$$\sum_{p \in P_s} (a_{sp} u_{spt} + q_{spt}) \leq b_s \quad \forall s \in S, t \in T \tag{15}$$

$$l_{spt} = l_{spt-1} + q_{spt} - \sum_{(s,j) \in A} x_{sjpt} \quad \forall s \in S, p \in P_s, t \in T \tag{16}$$

$$\begin{aligned}
l_{dpt} = l_{dpt-1} + \sum_{(i,d) \in B} x_{idpt} \\
- \sum_{(d,j) \in B} x_{djpt} - \sum_{(d,c) \in A} x_{dcpt}
\end{aligned} \quad \forall d \in D, p \in P, t \in T \tag{17}$$

$$\sum_{(s,o) \in A} x_{sopt} + \sum_{(j,o) \in B} x_{jopt} = \sum_{(o,i) \in B} x_{oipt} \quad \forall o \in O, p \in P, t \in T \tag{18}$$

$$\sum_{(i,c) \in A} x_{icpt} = n_{cpt} \quad \forall c \in C, p \in P, t \in T \tag{19}$$

$$y_{ijt} \cdot b^{\text{FTL}} + x_{ijt}^{\text{LTL}} \geq \sum_{p \in P} x_{ijpt} \quad \forall (i,j) \in B, t \in T \tag{20}$$

$$u_{spt} \in \{0,1\} \quad \forall s \in S, p \in P, t \in T \tag{21}$$

$$q_{spt} \geq 0 \quad \forall s \in S, p \in P, t \in T \quad (22)$$

$$x_{ijpt} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A \cup B, p \in P, t \in T \quad (23)$$

$$x_{ijt}^{LTL} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in B, t \in T \quad (24)$$

$$y_{ijt} \in \mathbb{N} \quad \forall (i, j) \in B, t \in T \quad (25)$$

Portanto, a função objetivo (13) busca minimizar o custo total relacionado à produção, estoque e transporte dos produtos. Destaca-se que os autores consideram que todas as fábricas  $s \in S$  têm o mesmo custo de produção por unidade.

As restrições (14) determinam se a fábrica  $s$  está produzindo o produto  $p$  no período de tempo  $t$ , por meio da variável binária  $u_{spt}$ . Caso  $u_{spt} = 1$ , a fábrica  $s \in S$  está fabricando o produto  $p \in P_s$  no período  $t \in T$ , sendo que a quantidade total produzida  $q_{spt}$  não poderá ser maior que a capacidade de produção da instalação ( $b_s$ ). As restrições (15) garantem que a capacidade de produção da fábrica não será excedida em nenhum período  $t \in T$ .

Já as restrições (16) e (17) são de balanceamento/equilíbrio de estoque para facilidades que podem armazenar estoques na rede. As restrições (16), por exemplo, se referem à formação de estoques na fábrica  $s \in S$  que acontece quando o estoque inicial somado à quantidade produzida no período, descontado o montante enviado para consumo, é maior que zero. Dessa forma, o estoque em  $s \in S$  será determinado pela relação entre o estoque já existente, a quantidade produzida e a quantidade demandada pelos consumidores  $c \in C$ .

As restrições (17) se referem à formação de estoque no terminal intermodal situado na zona de demanda ( $d \in D$ ), a qual é determinada pela relação entre estoque inicial, o recebimento de produtos de outros terminais intermodais ( $o \in O$  e/ou  $d \in D$ ), o envio de produtos para outros terminais da zona de demanda ( $d \in D$ ) e a quantidade enviada para os consumidores  $c \in C$ .

As restrições (18) garantem que não haverá formação de estoque no terminal intermodal  $o \in O$ , tendo em vista que toda carga do produto  $p \in P$  recebida das fábricas  $s \in S$  e de outros terminais intermodais da zona de produção ( $o \in O$ ) precisam ser totalmente enviada para terminais da zona de demanda ( $d \in D$ ).

As restrições (19) asseguram que toda a demanda dos consumidores  $c \in C$  será atendida pelo modo rodoviário, seja por meio do envio dos produtos diretamente (porta a porta) a partir da fábrica ( $s \in S$ ) ou pelo atendimento por meio dos terminais intermodais da zona de consumo ( $d \in D$ ). Enquanto as restrições (20) garantem que a capacidade de transporte pelo ramal ferroviário  $(i, j) \in B$  é maior do que toda a quantidade enviada entre os terminais intermodais  $o \in O$  ou  $d \in D$ , tendo em vista que está é a única conexão que os une. Além disso, garantem que a opção entre o transporte FTL e LTL será decidida de forma que minimize o custo total (conforme a Nota 2 do Quadro 7). As demais restrições (21-25) se referem ao domínio das variáveis.

Assim, nota-se que como em DUBKE (2006), MEISEL *et al.* (2013) não possuem qualquer restrição que garanta que a demanda par-a-par será satisfeita, tendo em vista que todos os pontos de origem pertencem a uma mesma empresa e, portanto, não importa qual delas deve atender ao destino, desde que se minimize o custo total.

Contudo, como cada fábrica está situada em um país diferente, pode haver algum caso em que haja restrição em relação à zona de produção, tendo em vista acordos comerciais estabelecidos entre países e/ou até mesmo algum tipo de embargo econômico. Dessa forma, a inserção de restrições que garantam a demanda par-a-par pode ser uma alternativa para solução de casos em que se haja esse tipo de limitação. Assim, o modelo desenvolvido nesta dissertação poderia contribuir – ainda que de maneira indireta – para aprimoramentos futuros do modelo destes autores.

Cabe ressaltar que o artigo de MEISEL *et al.* (2013) considera os períodos de produção e a possibilidade de transporte ferroviário LTL e FTL, os quais não são levados em conta no modelo proposto no Capítulo 4. Contudo, a modelagem matemática desenvolvida nesta dissertação leva em conta a possibilidade de transporte hidroviário ou uma opção intermodal com a combinação de diferentes modos de transporte entre um CIL e seu destino.

Como ponto de convergência entre os dois modelos, tem-se que o terminal intermodal/CIL que só é usado se o custo dessa conexão for menor que o custo da ligação direta e que toda carga enviada diretamente da origem para o destino final ou da origem para um terminal intermodal está alocada no modo rodoviário.

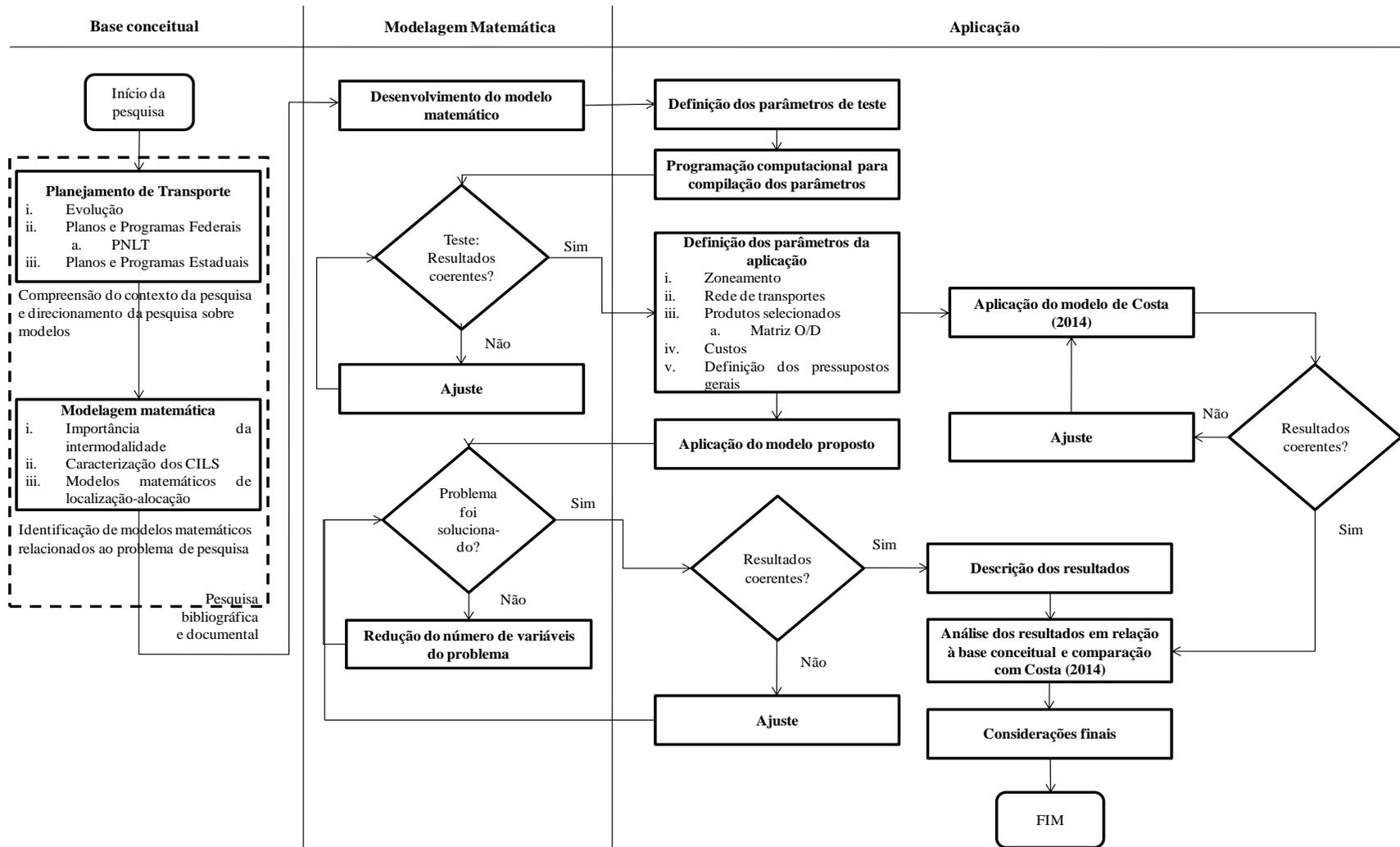
Por fim, cabe ressaltar que há uma seção no trabalho de MEISEL *et al.* (2013) em que os autores propõem a inserção de objetivos relacionados à preservação ambiental ao modelo. Assume-se, então, que maiores custos de transporte podem ser

aceitos, caso proporcionem uma menor utilização do modo rodoviário porta-a-porta impactando positivamente no meio ambiente.

Dessa forma, tem-se o objetivo  $min = \frac{\sum_{s \in S} \sum_{c \in C} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} x_{scpt}}{\sum_{c \in C} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} n_{cpt}}$  o qual, por ser conflitante com a função objetivo (13), é transformada em uma restrição: método da restrição- $\epsilon$  de HAIMES *et al.* (1971). Entretanto, esta modelagem não será discutida neste capítulo por fugir ao escopo desta dissertação.

Destaca-se que, dentre toda a literatura analisada, o trabalho com maior correlação com a presente dissertação é o de COSTA (2014), tendo em vista que se propõem modificações ao modelo matemático desenvolvido pela autora com intuito de tornar a avaliação do problema por ela selecionado mais aderente à realidade. Dessa forma, o Capítulo 4 detalha o modelo da autora e, em seguida apresenta o modelo proposto nesta dissertação, destacando sua principal contribuição: a inserção de restrições que garantem o atendimento das demandas par-a-par.

Contudo, antes de discorrer sobre o objetivo principal desta dissertação, faz-se necessário apresentar os procedimentos metodológicos usados para o desenvolvimento da presente pesquisa. Então, como fechamento deste capítulo, a Figura 3 descreve-os de maneira simplificada.



**Figura 3:** Procedimentos metodológicos (simplificados) para o desenvolvimento de presente pesquisa

## **4 MODELAGEM MATEMÁTICA PROPOSTA**

Este capítulo tem como objetivo apresentar a modelagem matemática proposta nesta dissertação para localização-alocação de centros de integração logística, respeitando os fluxos de bens entre os pontos de produção e consumo. Para tanto, será apresentado o modelo de COSTA (2014), que embasou a realização do presente trabalho.

À modelagem matemática da autora, foram propostos ajustes para que se considerem as demandas par-a-par na determinação do número de CILs a serem abertos e suas respectivas localidades e volumes de produtos movimentados. Dessa forma, este capítulo está dividido em duas seções: (1) apresentação e detalhamento do modelo de COSTA (2014); e (2) apresentação da modelagem matemática proposta.

### **4.1 Modelo matemático de Costa (2014)**

O modelo de COSTA (2014) tem como objetivo determinar localizações potenciais de CILs, dadas as configurações da rede de transporte que conecta os pontos de produção e consumo, indicando também a quantidade de cada produto que seria alocado em cada estrutura a ser instalada. Entretanto, ele não considera explicitamente os fluxos par-a-par entre origens e destinos, ou seja, o produtor de determinado produto pode enviá-lo a qualquer ponto de demanda que também utilize o mesmo CIL como intermediário. Desconsidera-se, desta forma, a existência de contratos formalizados entre fornecedores de bens (e serviços) e clientes.

Assim, esse ajuste é importante para que os resultados do modelo possam estar mais aderentes à realidade econômica e à aplicação prática, tendo em vista que os clientes podem não estar dispostos a receber seus produtos de qualquer fornecedor e vice-versa, seja por questões financeiras ou por já ter uma relação de parceria estabelecida entre as partes.

COSTA (2014) considera as seguintes premissas para elaboração do modelo matemático:

- 1) Os CILs a serem instalados serão selecionados a partir de um conjunto de candidatos pré-definidos, com base nos critérios apresentados no Capítulo 5;
- 2) O produtor só utilizará um determinado CIL – indicado para abertura - caso este proporcione redução do seu custo total de transporte. Ou seja, se o custo de transporte direto entre o ponto de produção e de consumo for menor do que

o custo associado à utilização do CIL, o produtor optará pelo transporte direto (sem usar a estrutura);

- 3) Se nenhum produtor for beneficiado pela instalação dos CIL, com redução do custo total de transporte, o CIL não deverá ser aberto; e,
- 4) Há uma capacidade mínima estabelecida para abertura do CIL, para que se garanta a viabilidade econômica desta estrutura. Caso contrário, um CIL poderia ser aberto para movimentação de pequenos volumes, os quais poderiam não justificar o montante de recursos investido. Assim, a estrutura só será aberta quando a soma dos volumes de carga que passariam por ela atingir ou superar a capacidade mínima do CIL (especificada na Seção 5).
- 5) De forma análoga, considera-se a capacidade máxima de cada estrutura, tendo em vista que qualquer facilidade tem capacidade limitada. Assim, caso a quantidade movimentada alcance o limite do CIL, nenhuma unidade adicional poderá ser enviada para esta estrutura.

Dessa forma, seja  $P$  o conjunto de produtos a ser movimentado,  $I$  o conjunto de pontos ou zonas de produção (representando as origens),  $K$  o conjunto de locais candidatos a CIL,  $J$  o conjunto de pontos ou zonas de consumo (representando os destinos) e  $M$  o conjunto de modos disponíveis, consideram-se:

- $M_{pi}^{dir}$  : conjunto dos modos disponíveis para transportar diretamente o produto  $p \in P$  do ponto de produção  $i \in I$  para qualquer ponto consumidor  $j \in J$ ;
- $M_{pi}^{ent}$  : conjunto de modos disponíveis para transportar o produto  $p \in P$  do ponto de produção  $i \in I$  para qualquer CIL  $k \in K$ ; e,
- $M_{pk}^{sai}$  : conjunto de modos disponíveis para transportar o produto  $p \in P$  do CIL  $k \in K$  para qualquer ponto de demanda  $j \in J$ .

Em relação ao fluxo direto, Costa (2014) estabelece que o produto  $p \in P$  pode ser enviado diretamente a um ponto de consumo  $j \in J$ , a partir do ponto de produção  $i \in I$ , por meio de um único modo  $m \in M_{pi}^{dir}$ . Já o fluxo que passa por um CIL  $k \in K$  precisa, obrigatoriamente, realizar pelo menos uma transferência modal.

Assim, têm-se os parâmetros que são utilizados no modelo:

- $C_{pijm}^{dir}$  : custo unitário de transporte do produto  $p \in P$  da zona de produção  $i \in I$  para o ponto de consumo  $j \in J$ , de maneira direta pelo modo de transporte  $m \in M$ , ou seja, sem a utilização do CIL;

- $C_{pikm}^{ent}$ : custo unitário de transporte do produto  $p \in P$  da zona de produção  $i \in I$  para o CIL  $k \in K$ , pelo modo de transporte  $m \in M_{pi}^{ent}$ . COSTA (2014) explica que  $C_{pikm}^{ent}$  pode ser escrito como  $C_{pikm}^{ent} = C_{pikm}^{un} d_{pikm}^{ent} \varepsilon_{pik}^{ent}$ , onde:  $C_{pikm}^{un}$  se refere ao custo unitário de transporte do produto  $p \in P$  entre a zona de produção  $i \in I$  e o CIL  $k \in K$  pelo modo  $m \in M_{ent}$ ;  $d_{pikm}^{ent}$  se refere à distância entre a origem  $i \in I$  e o CIL  $k \in K$ , pelo modo  $m \in M_{ent}$ ; e,  $\varepsilon_{pik}^{ent}$  está relacionado ao fator de desconto devido à economia de escala;
- $C_{pkjm}^{sai}$ : custo unitário de transporte do produto  $p \in P$  do CIL  $k \in K$  até a zona de consumo  $j \in J$ , pelo modo de transporte  $m \in M_{pk}^{sai}$ . De forma análoga ao anterior, Costa (2014) explica que  $C_{pkjm}^{sai}$  pode ser escrito como  $C_{pkjm}^{sai} = C_{pkjm}^{un} d_{pkjm}^{sai} \varepsilon_{pkj}^{sai}$ , onde:  $C_{pkjm}^{un}$  se refere ao custo unitário de transporte do produto  $p \in P$  do CIL  $k \in K$  para o ponto de consumo  $j \in J$ , pelo modo de transporte  $m \in M_{sai}$ ;  $d_{pkjm}^{sai}$  representa a distância entre o CIL  $k \in K$  e a zona de consumo  $j \in J$ ; e,  $\varepsilon_{pkj}^{sai}$  está associado ao fator de desconto aplicado pela economia de escala;
- $CT_{pkjm}^{sai}$ : custo do(s) transbordo(s) do produto  $p \in P$ , entre o CIL  $k \in K$  e a zona de consumo  $j \in J$  para o modo  $m \in M_{pk}^{sai}$ . Este custo está relacionado à troca modal proporcionada pelo CIL, tendo em vista que mais de uma troca modal pode ser feita ao longo do trajeto entre  $k \in K$  e  $j \in J$ , desde que proporcione redução no custo total de transporte;
- $g_{pk}$ : custo fixo de utilização do CIL  $k \in K$  pelo produto  $p \in P$ ;
- $v_{pk}$ : custo variável de utilização do CIL  $k \in K$  pelo produto  $p \in P$ ;
- $v_k^{min}$ : representa o volume mínimo para abertura do CIL  $k \in K$ ;
- $v_k^{max}$ : representa o volume máximo para abertura do CIL  $k \in K$ ;
- $P_{pi}$ : representa a quantidade total de produto  $p \in P$  ofertado na zona  $i \in I$ ; e
- $D_{pj}$ : representa a quantidade total de produto  $p \in P$  demandado na zona  $j \in J$ .

Com relação às variáveis de decisão, têm-se:

- $x_{pijm}^{dir}$ : volume do produto  $p \in P$  transportado diretamente do ponto de produção  $i \in I$  até o ponto de consumo  $j \in J$  pelo modo  $m \in M_{pi}^{dir}$ ;

- $x_{pikm}^{ent}$  : volume do produto  $p \in P$  transportado do ponto de produção  $i \in I$  até o CIL  $k \in K$  pelo modo  $m \in M_{pi}^{ent}$  (representa fluxo de entrada de produtos no CIL);
- $x_{pkjm}^{sai}$  : volume do produto  $p \in P$  transportado do CIL  $k \in K$  até o ponto de consumo  $j \in J$  pelo modo  $m \in M_{pk}^{sai}$  (representa o fluxo de saída do CIL); e
- $z_k$  : variável binária que indica se o CIL  $k \in K$  deve ser aberto ( $z_k=1$ ) ou não ( $z_k = 0$ ).

Destaca-se que faz parte da solução do problema saber qual a quantidade de cada produto que deve ser enviada entre dois pontos e por qual modo. Por isso a escolha de que modo de transporte utilizar está associada às variáveis de decisão de volume apresentadas.

Para o CIL ser utilizado é necessário que o custo para transportar o produto  $p \in P$  entre a zona de produção  $i \in I$  e a zona de consumo  $j \in J$ , passando pelo CIL  $k \in K$ , seja menor que o custo de transportar esse produto entre tais zonas, de forma direta. Isto posto, apresenta-se a formulação matemática proposta por COSTA (2014) na sequência.

Minimizar  $v(CILCosta) =$

$$\begin{aligned}
& \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{m \in M_{pi}^{dir}} C_{pijm}^{dir} x_{pijm}^{dir} + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{m \in M_{pi}^{ent}} C_{pikm}^{ent} x_{pikm}^{ent} \\
& + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \left( g_{pk} z_k + v_{pk} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M_{pk}^{sai}} x_{pikm}^{sai} \right) \\
& + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \sum_{m \in M_{pk}^{sai}} (C_{pkjm}^{sai} + CT_{pkjm}^{sai}) x_{pkjm}^{sai}
\end{aligned} \tag{26}$$

**Sujeito a:**

$$\sum_{k \in K} \sum_{m \in M_{pi}^{ent}} x_{pikm}^{ent} + \sum_{j \in J} \sum_{m \in M_{pi}^{dir}} x_{pijm}^{dir} \leq P_{pi} \quad \forall p \in P, i \in I \tag{27}$$

$$V_k^{min} z_k \leq \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M_{pi}^{ent}} x_{pikm}^{ent} \leq V_k^{max} z_k \quad \forall k \in K \tag{28}$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M_{pi}^{ent}} x_{pikm}^{ent} = \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{m \in M_{pk}^{sai}} x_{pkjm}^{sai} \quad \forall k \in K \quad (29)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{m \in M_{pk}^{sai}} x_{pkjm}^{sai} + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M_{pi}^{dir}} x_{pijm}^{dir} = D_{pj} \quad \forall p \in P, j \in J \quad (30)$$

$$x_{pijm}^{dir} \geq 0 \quad \forall p \in P, i \in I, j \in J, m \in M_{pi}^{dir} \quad (31)$$

$$x_{pikm}^{ent} \geq 0 \quad \forall p \in P, i \in I, k \in K, m \in M_{pi}^{ent} \quad (32)$$

$$x_{pkjm}^{sai} \geq 0 \quad \forall p \in P, k \in K, j \in J, m \in M_{pk}^{sai} \quad (33)$$

$$z_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K \quad (34)$$

A função objetivo (26) busca minimizar os custos globais de transporte, considerando, portanto, tanto os custos associados ao transporte direto quanto os custos de transporte pelo CIL. Levam-se em conta, também, os custos operacionais (fixos e variáveis) desta estrutura e de transbordo.

As restrições expressas em (27) garantem que: todo volume do produto  $p \in P$  enviado do ponto de produção  $i \in I$  para um CIL  $k \in K$  e/ou diretamente para um ponto de consumo  $j \in J$ , será menor ou igual à capacidade de produção do produto  $p$  no ponto de produção  $i$  ( $P_{pi}$ ). Ou seja, seu objetivo é garantir que será transportado para os pontos de demanda apenas a quantidade ofertada, uma vez que não haveria produtos para atender um volume maior de demanda. COSTA (2014) destaca que esta restrição considera todo o volume enviado a partir do ponto  $i \in I$  independente do modo utilizado.

As restrições (28) estão relacionadas às capacidades máximas e mínimas de utilização do CIL, as quais implicam diretamente na sua condição de abertura ( $z_k$ ). Assim, a variável  $z_k$  recebe “1” se for aberto um CIL em  $k$ , caso contrário,  $z_k$  recebe “0”. Se,  $z_k = 1$ , as variáveis  $x_{pikm}^{ent}$  devem assumir valores positivos que somados devem estar entre  $V_k^{min}$  e  $V_k^{max}$ . Caso contrário,  $z_k = 0$ , ou seja, o CIL não é aberto e, portanto, não há volumes de produtos passando por ele.

As restrições (29) são conhecidas como de conservação de fluxo, pois garantem que todo fluxo de produtos que entra em um CIL  $k \in K$  é igual a todo o fluxo de produtos que sai deste ponto concentrador, ou seja,  $\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M_{pi}^{ent}} x_{pikm}^{ent} =$

$\sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{m \in M_{pk}^{sai}} x_{pkjm}^{sai}$ . Neste caso, o CIL é considerado um terminal de transbordo, em que não é previsto o serviço de armazenagem, pois não há a formação de estoque.

De forma análoga às restrições (27), as restrições (30) garantem que todo volume do produto  $p \in P$  recebido no ponto de consumo  $j \in J$ , seja de maneira direta ou por meio do CIL, deve ser igual ao total demandado por este produto no ponto de consumo. Esta restrição é de igualdade, pois a demanda de todas as zonas de consumo deve ser atendida, sem exceção. Além disso, essa restrição garante também que, mesmo que haja um excesso de produção, só será enviada aos consumidores a quantidade exata à solicitada.

As demais restrições estão relacionadas ao domínio das variáveis. O modelo matemático proposto por COSTA (2014) é classificado como um modelo de Programação Linear Inteira Mista – PLIM.

Caso haja restrição orçamentária e se queira limitar os investimentos em CIL, a restrição (35) deve ser incluída.

$$\sum_{k \in K} f_k z_k \leq F \quad (35)$$

Onde:

$f_k$ : valor de investimento requerido para abertura de um CIL em  $k \in K$ ; e

$F$ : valor máximo (ou total) de recursos disponíveis para investir na abertura de CILs.

Nota-se que  $f_k$  não está incluído na função objetivo, pois se considera que a abertura de CILs é de interesse estratégico governamental independente do custo a ele associado. Entretanto, como há recursos finitos no orçamento público, é importante que seja previsto um montante máximo de investimentos que poderiam ser dedicados à implantação dessas estruturas limitando, assim, o número de CILs a serem abertos e, possivelmente, suas localizações.

COSTA (2014) indica, ainda, a inserção da restrição (36) do tipo  $p$ -medianas, caso seja necessário definir um número máximo  $\bar{p}$  de CILs abertos.

$$\sum_{k \in K} z_k \leq \bar{p} \quad (36)$$

Assim, avaliando o modelo proposto por COSTA (2014) percebe-se que não há uma restrição que garanta que o volume demandado pela zona de demanda  $j_1 \in J$  do produto  $p \in P$  da zona de produção  $i_1 \in I$ , será atendido por esta zona. Seu modelo

garante apenas que a demanda de  $j_1 \in J$  será atendida, não importando por qual zona produtiva.

Dessa forma, o CIL seria um terminal concentrador de cargas, recebendo produtos de várias origens e enviando-os para múltiplos destinos, conforme a quantidade demandada, sem considerar que possa haver qualquer relação entre produtores e consumidores. O que importa no modelo é que as demandas totais sejam satisfeitas, condição válida para o planejamento estratégico no qual se deseja, inicialmente, avaliar locais concentradores na rede.

Entretanto, tendo em vista o modelo econômico neoliberal vigente, isso não representa a realidade econômica do país em que há relações contratuais entre clientes e fornecedores que precisam ser consideradas. Além disso, o consumidor tem liberdade para escolher de que fornecedor quer comprar e, independentes dos motivos que o levem a escolher uma zona de oferta em detrimento a outra, esta escolha precisa ser respeitada. Ademais, um mesmo produto – por exemplo, café – pode ter qualidades diferentes em função da região em que é produzido.

Portanto, a principal contribuição do modelo matemático proposto nesta dissertação é a inserção de restrições que garantam que as demandas par-a-par serão atendidas. Assim, a Seção 4.2 apresenta a modelagem proposta neste trabalho, comparando-a com a de COSTA (2014).

#### 4.2 Modelo matemático proposto

Tomando como base o modelo de COSTA (2014) e, com intuito de garantir que as demandas par-a-par serão atendidas, propõe-se o modelo (37) – (41).

Minimizar  $v(\text{CILGuimarães}) =$

$$\begin{aligned}
& \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{m \in M_{pi}^{dir}} C_{pijm}^{dir} x_{pijm}^{dir} + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{m \in M_{pi}^{ent}} C_{pikm}^{ent} x_{pikm}^{ent} \\
& + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \left( g_{pk} z_k + v_{pk} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M_{pk}^{sai}} x_{pikm}^{sai} \right) \\
& + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \sum_{m \in M_{pk}^{sai}} (C_{pkjm}^{sai} + CT_{pkjm}^{sai}) x_{pkjm}^{sai}
\end{aligned} \tag{37}$$

**Sujeito a:** (28), (31) – (34),

$$\sum_{m \in M_{pi}^{dir}} x_{pijm}^{dir} + \sum_{k \in K} Y_{pikj} = d_{pij} \quad \forall p \in P, i \in I, j \in J \quad (38)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{ipkj} = \sum_{m \in M_{pi}} x_{pikm}^{ent} \quad \forall i \in I, p \in P, k \in K \quad (39)$$

$$\sum_{i \in I} Y_{ipkj} = \sum_{m \in M_{pk}} x_{pkjm}^{sai} \quad \forall j \in J, p \in P, k \in K \quad (40)$$

$$\sum_{i \in I} Y_{ipkj} \geq 0 \quad (41)$$

Onde:

- $Y_{ipkj}$ : refere-se ao volume de produto  $p \in P$  transportado de  $i \in I$  para  $j \in J$ , que utiliza o CIL  $k \in K$ . Trata-se de uma variável de decisão que garante que as demandas par-a-par serão respeitadas, ou seja, que determinado produto  $p \in P$  demandado por  $j \in J$  de uma zona  $i \in I$  específica, será atendida por esta zona, mesmo se qualquer CIL  $k \in K$  estiver aberto.
- $d_{ipj}$ : refere-se à quantidade total do produto  $p \in P$  demandada pela zona de consumo  $j \in J$ , proveniente da zona de produção  $i \in I$ .

No modelo de COSTA (2014) apenas as demandas atendidas de maneira direta (sem passar pelo CIL) consideravam os fluxos de mercadorias determinados entre  $i \in I$   $j \in J$ . Todo o fluxo que passava pelo CIL, por sua vez, não havia nenhuma garantia de atendimento às demandas par-a-par, a única consideração feita era que toda a demanda precisava ser atendida, não importando, contudo, por qual zona de produção.

Nota-se que a função objetivo (37) permanece igual à anterior, pois o intuito continua sendo a minimização do custo global de transportes. A diferença, portanto, está nas restrições as quais garantem não apenas que as demandas serão atendidas e a capacidade de produção da zona de oferta será respeitada, como também que cada zona de demanda receberá o produto exatamente da zona de produção da qual está solicitando.

As restrições (27), (29) e (30) de COSTA (2014) foram substituídas pelas restrições (38), (39) e (40). As restrições (38) garantem que a demanda total de cada zona de consumo ( $d_{pij}$ ) será atendida, seja por transporte direto entre a zona de produção e a de consumo ( $x_{pijm}^{dir}$ ), seja passando pelo CIL ( $Y_{pikj}$ ). Garante também que, independente do CIL usado ( $\forall k \in K$ ), a demanda par-a-par será respeitada, ou seja,

cada zona de consumo  $j \in J$  receberá o(s) produto(s)  $p \in P$  especificamente das zonas de produção  $i \in I$  que solicitar.

Já as restrições (39) garantem que toda a quantidade do produto  $p \in P$  que vai da zona de produção  $i \in I$  para a zona de consumo  $j \in J$  passando pelo CIL  $k \in K$  será exatamente igual a toda a quantidade de produto  $p \in P$  que entra no CIL  $k \in K$  tendo como origem a zona de produção  $i \in I$ . Isso significa que toda a quantidade de produto  $p \in P$  que entra no CIL  $k \in K$  já tem uma destinação específica, não podendo ser usado para atender a demanda de outra zona de consumo  $j \in J$ .

As restrições (40) garantem que toda a quantidade do produto  $p \in P$  que vai da zona de produção  $i \in I$  para a zona de consumo  $j \in J$  passando pelo CIL  $k \in K$  será exatamente igual a toda a quantidade de produto  $p \in P$  que sai no CIL  $k \in K$  tendo como destino a zona de consumo  $j \in J$ . A interpretação é análoga à das restrições (39).

Assim, combinando as restrições (39) e (40) tem-se equação de conservação de fluxo, a qual não foi apresentada expressamente no modelo, pois seria uma redundância. A combinação dessas restrições garante, portanto, que todo volume de produtos  $p \in P$  que entra em um determinado CIL  $k \in K$  precisa ir para uma determinada zona de consumo  $j \in J$ , ou seja, não há formação de estoque.

Dessa forma, as restrições (38), (39) e (40), em conjunto, garantem que determinada zona de consumo  $j \in J$  só poderá ser atendida pelas zonas de produção  $i \in I$  das quais demanda algum produto  $p \in P$ . Em relação aos modos de transportes, as mesmas considerações feitas por COSTA (2014) foram replicadas neste modelo.

As restrições (41), por sua vez, estão relacionadas ao domínio das variáveis associadas às demandas par-a-par. Com isso, o modelo matemático proposto nesta dissertação também é considerado um modelo de Programação Linear Inteira Mista – PLIM.

Destaca-se que é possível realizar um pré-processamento facilitando o processo de solução do modelo matemático. Assim, ele funciona como uma “restrição virtual” para o modelo apresentado. Assume-se que quando o custo para transportar o produto  $p \in P$  entre a zona de produção  $i \in I$  e a zona de consumo  $j \in J$ , passando por qualquer candidato a CIL  $k \in K$  for maior que o custo de transportar o produto  $p \in P$  entre a zona de produção  $i \in I$  e a zona de consumo  $j \in J$  de forma direta, o transportador sempre optará por enviar o produto de forma direta.

Dessa maneira, todas as situações em que isso acontece são retiradas da base de dados, ficando para o processo de otimização apenas aqueles casos em que passar por um ou mais candidatos a CILs  $k \in K$  for mais barato, promovendo assim, uma redução do custo total. Isso faz com que haja uma redução da capacidade computacional exigida para a resolução do modelo, como está detalhado no Capítulo 6.

Por fim, caso haja restrição orçamentária e se queira limitar os investimentos em implantação de CILs, pode-se adotar a restrição (35) e, caso deseje-se definir um número máximo  $\bar{p}$  de CILs abertos, pode-se usar a restrição (36). Apresentado o modelo matemático que constitui o objetivo principal desta dissertação, o Capítulo 5 apresenta os parâmetros adotados para a aplicação do mesmo enquanto o Capítulo 6 detalha os principais resultados encontrados, além de compará-los com os valores obtidos pela aplicação do modelo de COSTA (2014).

## **5 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS PARA APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO**

Apresentados os conceitos sobre planejamento do setor de transporte (Capítulo 2), os modelos de localização e/ou alocação usados para embasar o desenvolvimento do modelo proposto nesta dissertação (Capítulo 3) e o modelo matemático, propriamente dito (Capítulo 4), faz-se necessários definir os parâmetros usados para a elaboração do cenário de validação do modelo.

Ressalta-se que para satisfazer o objetivo específico número 3 apresentado na introdução, ou seja, comparar os resultados obtidos pela aplicação do modelo desenvolvido nesta dissertação com aqueles de COSTA (2014), a fim de verificar o impacto da inserção de restrições que garantam os fluxos par-a-par, assumiram-se os mesmos parâmetros adotados pela autora.

Adicionalmente, buscaram-se fontes que reforcem algumas escolhas replicadas no presente trabalho. Destaca-se ainda que, de maneira geral, as informações foram obtidas por meio da análise do PNLT, tendo em vista a relevância deste plano para o planejamento do setor - como apresentado no Capítulo 2 - sendo, portanto, importante para este estudo.

Dessa forma, este capítulo está dividido da seguinte maneira: (1) apresentação do zoneamento das áreas de estudo; (2) caracterização da rede de transportes do PNLT; (3) seleção dos produtos a serem considerados, na análise; (4) apresentação das matrizes de origem e destino – O/D dos produtos selecionados; (5) definição dos custos associados; e, (6) apresentação de parâmetros adicionais para construção do cenário de validação do modelo.

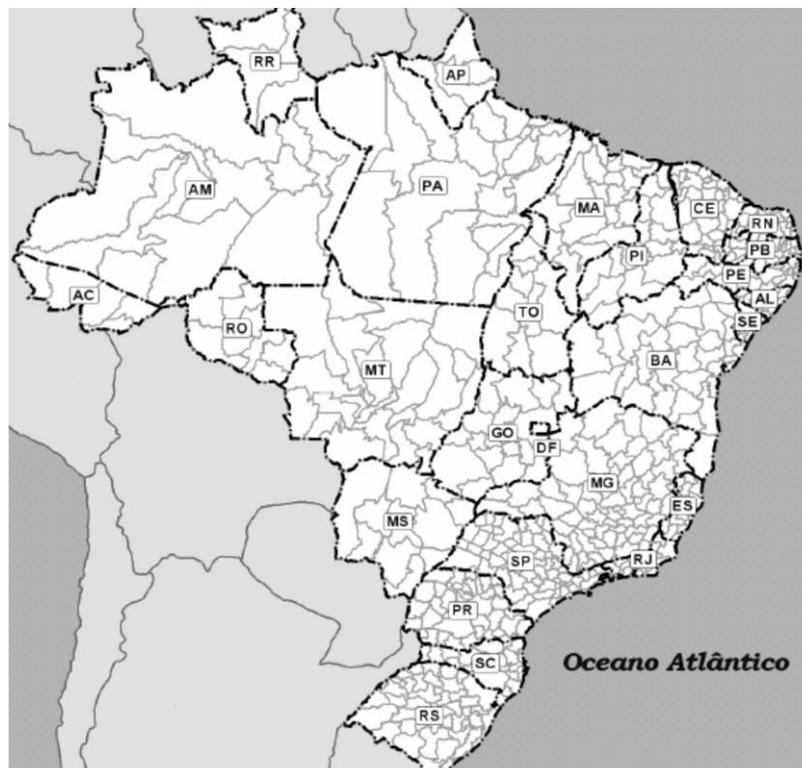
### **5.1 Zoneamentos das áreas de estudo**

Dadas as dimensões continentais do Brasil, a concentração das zonas de produção e consumo e a infraestrutura de transporte, as diferentes regiões que o compõem possuem características heterogêneas (BOMFIM, 2014) que precisam ser consideradas na aplicação do modelo proposto neste trabalho.

Segundo COSTA (2014), a divisão da área de estudo em zonas deve possibilitar a representação das regiões com características homogêneas, em relação à demanda por transportes. Assim, adotaram-se os seguintes critérios para definição dos zoneamentos do território nacional:

- 1) A unidade espacial mínima de cada zona de transporte deve abranger os limites municipais, ou seja, nenhuma zona pode ser formada por parte de um município ou partes de diferentes municípios. Portanto, a extensão territorial municipal deve ser considerada em sua totalidade;
- 2) As zonas de transporte podem agregar um ou mais municípios, sendo recomendável a correspondência a alguma unidade espacial adotada pelo IBGE (microrregiões ou mesorregiões homogêneas). Este critério tem como objetivo facilitar a obtenção dos (dados socioeconômicos e de produção e consumo);
- 3) A densidade da malha de transporte deve ser considerada. Assim, regiões com maior densidade – como áreas do Sudeste brasileiro - devem ser subdivididas em um maior número de loteamentos (Figura 4); e,
- 4) Os fluxos de importação ou exportação também devem ser considerados no zoneamento.

Por meio da adoção desses quatro critérios, a área de estudo foi subdividida – conforme o PNLT - em 559 regiões consideradas homogêneas, sendo: 558 zonas dentro do território nacional e uma zona representando os fluxos de mercadoria para o exterior, cuja distribuição territorial está apresentada na Figura 4 e no Quadro 8.



**Figura 4:** Zoneamento da área de estudo segundo o PNLT

Fonte: MT (2007)

**Quadro 8: Microrregiões por estado e região**

Região	Estado	Nº de microrregiões	Total por região
Norte	Rondônia	8	64
	Acre	5	
	Amazonas	13	
	Roraima	4	
	Pará	22	
	Amapá	4	
	Tocantins	8	
Nordeste	Maranhão	21	188
	Piauí	15	
	Ceará	33	
	Rio Grande do Norte	19	
	Paraíba	23	
	Pernambuco	19	
	Alagoas	13	
	Sergipe	13	
	Bahia	32	
Sudeste	Minas Gerais	66	160
	Espírito Santo	13	
	Rio de Janeiro	18	
	São Paulo	63	
Sul	Paraná	39	94
	Santa Catarina	20	
	Rio Grande do Sul	35	
Centro Oeste	Mato Grosso do Sul	11	52
	Mato Grosso	22	
	Goiás	18	
	Distrito Federal	1	
Exterior <sup>1</sup>		1	1
Total		559	559

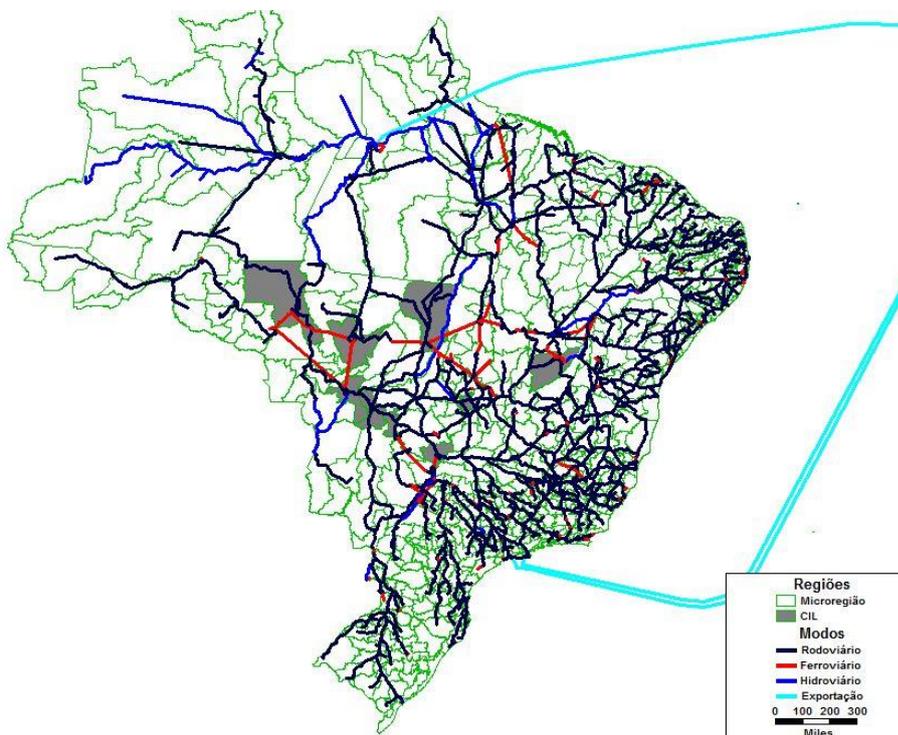
Nota: (1) Considera-se o exterior como uma única região, por questões de simplificação. Dessa forma, não importa o país de origem e destino da carga e sim se ela é exportada, importada ou consumida internamente. Caso seja importada ou exportada, a microrregião considerada é a “exterior”, independente da origem ou do destino final. (2) Para maior detalhes sobre as microrregiões, sugere-se a análise do PNLT (MT, 2007, 2009 e 2012).

Definidas as delimitações das microrregiões do estudo, faz-se necessário apresentar a rede de transporte que as conecta visto que a infraestrutura de transporte disponível em determinada área impacta diretamente na decisão do transportador (MARTINS *et al.*, 2005). Dessa forma, a Seção 5.2 apresenta a rede de transportes multimodal do PNLT, cuja base georreferenciada foi adotada para aplicação do modelo proposto.

## 5.2 Rede de transporte do PNLT

Para elaboração do presente trabalho, adotou-se a rede multimodal do PNLT sugerida para o ano de 2023 (MT, 2007), a qual considera tanto a malha de transporte existente quanto os projetos de infraestrutura previstos neste plano (Figura 5). Portanto,

as atualizações e projetos de infraestrutura de transporte indicados em programas governamentais mais recentes não foram considerados.



Nota: A figura destaca algumas regiões candidatas à instalação de CILs a fim de demonstrar a possibilidade de transferência modal nestas áreas, conforme será abordado na Seção 5.5

**Figura 5:** Rede multimodal do PNLT prevista para o ano de 2023

Fonte: Elaboração própria com o *software* TRANSCAD

A rede multimodal do PNLT envolve os diferentes arcos que unem as 559 regiões definidas no estudo, permitindo simular o transporte de mercadorias entre estas zonas. COSTA (2014) destaca que sua base georreferenciada contém mais de 16.260 segmentos, considerando a rede multimodal de transportes do país, sendo que aproximadamente 76% deles são rodoviários (atuais e planejados para 2023).

Assim, no que concerne à rede rodoviária, a base do PNLT considera 283.732 km de extensão, sendo: 62.443 km de rodovias federais, 34.688 km de federais delegadas, 180.602 km de estaduais e 5.999 km de rodovias municipais ou distritais. A rede ferroviária, por sua vez, é composta por 1024 segmentos, sendo que 755 compõem a rede atual e 269 integram a rede futura (para o ano de 2023). Ressalta-se que 19 segmentos atuais se caracterizam por serem trechos com troca de bitola.

Sobre a rede hidroviária, a base do PNLT tem cadastrados 174 segmentos e 12 eclusas, sendo 95,4% segmentos da rede atual. Destaca-se que o transporte marítimo (por meio de cabotagem) não é considerado neste trabalho.

A cada um destes segmentos são associadas informações que os caracterizam tais como: (1) nome da rodovia e código no SNV, identificação dos quilômetros iniciais e finais, extensão, jurisdição, trechos coincidentes, tipo de pavimento, tipo de pista (simples ou duplicada) etc., para o transporte rodoviário; (2) código ferroviário do SNV, extensão do segmento (em km), tipo e extensão da bitola férrea, nome da empresa concessionária e principais produtos transportados, para o modo ferroviário; e, (3) nome da hidrovia e da bacia hidrográfica a qual ela pertence, a extensão do trecho, a existência de eclusas e os principais produtos movimentados, para o modo aquaviário.

Por fim, destaca-se que a rede do PNLT permite identificar a existência de conexões intermodais entre os trechos analisados, ou seja, apresenta os pontos de conexão entre rodovias, hidrovias e ferrovias. Este fato é relevante, pois em tais trechos é possível fazer a transferência de cargas entre os diferentes modos disponíveis, consequentemente tais locais (microrregiões) são candidatas a receberem CILs.

Cabe elucidar que são considerados como pontos de transbordo/conexões intermodais: os portos secos, os armazéns de grãos, as indústrias esmagadoras de soja e as conexões intermodais. Sendo assim, são contabilizados 476 pontos de transferência rodo-ferroviária e 86 conexões rodo-hidroviária, totalizando 562 pontos de transbordo.

Uma vez apresentadas às principais características da rede multimodal usada para aplicação do modelo deste trabalho, faz-se necessário apresentar os custos associados ao transporte de mercadorias por cada um dos modos, bem como os demais custos relacionados à utilização de um CIL.

Contudo, como os custos associados aos valores de frete, manuseio da carga e armazenagem variam de acordo com o tipo de produto, torna-se importante definir, de antemão, quais produtos serão considerados neste estudo bem como suas matrizes de origem e destino. Portanto, a Seção 5.3 dedica-se a apresentação e detalhamento destas informações.

### **5.3 Produtos selecionados para análise**

Embora os parâmetros adotados para validação do modelo sejam os mesmos de COSTA (2014), faz-se necessário apresentar um panorama dos produtos nacionais a fim de ratificar a relevância dos produtos selecionados.

Destaca-se que a importância de determinado produto ou grupo de produtos pode estar associada tanto à magnitude da sua demanda quanto às características logísticas necessárias para atender exigências de mercado.

Nesse sentido, o PNLT, na sua versão de 2012, com base no Sistema de Contas Nacionais (SCN) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), de forma integrada à Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e à lista de produtos (PRODLIST) presentes em suas pesquisas, estabeleceu um método de classificação dos 110 bens e serviços identificados no SCN relacionados a 55 atividades produtivas.

Para classificação destes bens e serviços, foi feita uma análise a fim de harmonizar os dados oriundos de matrizes de origem e destino, provenientes de estudos econômicos setoriais e dados dos estudos de transportes regionais de cargas. Verificou-se uma incompatibilidade envolvendo a relação Setor x Produto, visto que diferentes setores e subsetores econômicos apresentam uma gama de produtos heterogêneos tangíveis às necessidades de geração de transportes.

Além disso, notou-se que não há padronização das bases de dados, já que números originados de estudos econômicos são expressos em valores monetários, enquanto estudos de transportes regionais de cargas apresentam valores quantitativos, normalmente expressos em toneladas.

Portanto, como critério para classificação desses produtos, a última revisão do PNLT apresentou uma metodologia de agrupamento de produtos os quais foram divididos em cinco grupos de acordo com suas características relacionadas ao transporte de cargas, e que considerou (MT, 2012):

- A forma de comercialização e distribuição dos produtos;
- Tipos de movimentação e portabilidade das cargas;
- Alterações na relação entre *quantum* (toneladas) e valor monetário do produto transportado de acordo com as etapas de sua cadeia produtiva; e
- A disponibilidade de informações confiáveis.

O Quadro 9 apresenta, de maneira sintética, os grupos de produtos propostos pelo PNLT, bem como suas principais características e as mercadorias que os compõem.

**Quadro 9: Grupos de produtos do PNLT**

(1)	Descrição	Características e particularidades	Produtos
<b>G1</b>	Nesse grupo, os produtos foram relacionados de acordo com seu valor bruto de produção - de acordo com estudos econômicos - e pela possibilidade de desenvolvimento de matriz O/D - de acordo com estudos do transporte regional de carga. Engloba, portanto, o caso dos complexos soja e milho, produtos siderúrgicos, combustíveis e outros.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produtos com geração de grandes volumes de transporte;</li> <li>• Produção e/ou consumo estabelecidos de forma concentrada em determinados locais ou regiões;</li> <li>• Elevado grau de homogeneidade (característica física) em grande parte das regiões de produção;</li> <li>• Características físicas que permitem aplicação de transporte multimodal;</li> <li>• Produtos que possuem arquivos disponíveis com informações suficientes para realizar análises e estimativas de O/D; e</li> <li>• Utilizam equipamentos de transportes que permitam ocupação total da sua capacidade. Assim, o número de viagens pode ser calculado pela razão entre a quantidade produzida e a capacidade dos veículos.</li> </ul>	<p>Alcool; Automóveis, camionetas e utilitários; Cana-de-açúcar; Carvão mineral; Celulose e outras pastas para fabricação de papel; Cimento; Gasolina automotiva; Gasoálcool; Milho em grão; Minério de ferro; Minerais metálicos não-ferrosos; Óleo de soja em bruto e tortas, bagaços e farelo de soja; Óleo combustível e óleo diesel; Produtos da exploração florestal e da silvicultura; Petróleo e gás natural; Produtos das usinas e do refino de açúcar; Semi-acabados, laminados planos, longos e tubos de aço; Soja em grão</p>
<b>G2</b>	No Grupo 2, os produtos selecionados seguem o critério de valor bruto de produção, de acordo com estudos econômicos. Porém, não é necessária precisão para desenvolvimento de matriz O/D - seguindo os estudos de transporte regional de carga. Nesse grupo, é permitida carência de bases de dados relativas ao comportamento nos seus diferentes locais de consumo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menores volumes de transporte;</li> <li>• Devem possuir informações suficientes para, minimamente, quantificar os volumes de produção (vendas);</li> <li>• Menor possibilidade de uso do transporte multimodal; e</li> <li>• Utilizam equipamentos de transportes que permitam ocupação total da sua capacidade. Assim, o número de viagens pode ser calculado pela razão entre a quantidade produzida e a capacidade dos veículos.</li> </ul>	<p>Abate e preparação de produtos de carne; Algodão herbáceo; Arroz em casca; Arroz beneficiado e derivados; Aves vivas; Bovinos e outros animais vivos; Café em grão; Caminhões e ônibus; Carne de suíno e de aves - fresca, refrigerada ou congelada; Café torrado, moído e solúvel; Fabricação de resina e elastômeros; Farinha de trigo e derivados; Farinha de mandioca e outros; Frutas cítricas; Fumo em folha; Gás liquefeito de petróleo; Gusa e ferro-ligas; Leite de vaca e de outros animais; Mandioca; Minerais não-metálicos; Óleos de milho, amidos e féculas vegetais e rações; Óleo de soja refinado; Outros produtos e serviços da lavoura; Outros produtos do refino de petróleo e coque; Ovos de aves; Papel e papelão, embalagens e artefatos; Pesca e aquicultura; Produtos do fumo; Produtos químicos orgânicos/inorgânicos; Suínos vivos; Trigo em grão e outros cereais</p>

(1)	Descrição	Características e particularidades	Produtos
G3	<p>Os produtos são elencados nesse grupo de acordo com seu valor bruto de produção nos estudos econômicos. Além disso, tais produtos devem agregar várias outras mercadorias. Nesse grupo, uma análise individual dos componentes de cada produto foi realizada para verificar se o valor e/ou volume é dominante em relação aos outros, evitando, então, distorções nos resultados da matriz de transportes gerada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nesse grupo, a análise individual dos componentes de cada produto foi realizada para verificar se o valor e/ou volume é dominante em relação aos outros, evitando, distorções nos resultados da matriz de transportes;</li> <li>• Para mercadorias com volume considerado significativo, considerou-se a reclassificação para os Grupos 1 e 2 de acordo com a desagregação de informações dos estudos econômicos; e</li> <li>• As mercadorias restantes são reclassificadas para o Grupo 4.</li> </ul>	<p>Minerais metálicos não-ferrosos; Minerais não-metálicos; Outros produtos e serviços da lavoura; Outros produtos do refino de petróleo e coque; Produtos da exploração florestal e da silvicultura; Produtos químicos inorgânicos; Sucatas reciclada</p>
G4	<p>Produtos relacionados pelo critério de valor bruto de produção, grande dispersão de produção e/ou consumo que não permitem análises setoriais.</p> <p>Os produtos desse grupo podem ser divididos em 2 subgrupos de acordo com seu valor agregado em: alto valor agregado e médio valor agregado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normalmente são produtos classificados como carga geral;</li> <li>• Sua heterogeneidade não possibilita execução de análises setoriais pela escassez de informações disponíveis;</li> <li>• Características físicas (forma e dimensão) não permitem valorar frete em reais/tonelada; e</li> <li>• Na distribuição, os veículos utilizados são compartilhados com outros produtos.</li> </ul>	<p>Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico; Artigos de borracha; Artigos de plástico; Bebidas; Beneficiamento de algodão e de outros têxteis e fiação; Conservas de frutas, legumes e outros vegetais; Defensivos agrícolas; Eletrodomésticos; Fundidos de aço; Jornais, revistas, discos e outros produtos gravados; Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado; Máquinas, aparelhos e materiais elétricos; Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos; Outros óleos e gordura vegetal e animal exclusive milho; Outros produtos alimentares; Outros equipamentos de transporte; Peças e acessórios para veículos automotores; Perfumaria, sabões e artigos de limpeza; Pescado industrializado; Produtos do laticínio e sorvetes; Produtos de madeira - exclusive móveis; Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos; Produtos da metalurgia de metais não-ferrosos e outros produtos de minerais não-metálicos; Produtos e preparados químicos diversos; Tecelagem e fabricação outros produtos têxteis; Tintas, vernizes, esmaltes e lacas</p>

(1)	Descrição	Características e particularidades	Produtos
G5	<p>No Grupo 5, estão relacionados os produtos elencados por seu valor, no entanto, nesse grupo, não existem demandas de transportes diretos.</p> <p>Exemplos: eletricidade, negociações financeiras, aluguel de imóveis, e prestações de serviços em geral.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atividades que tem o objetivo de apoio a segmentos ou atendimento a setores e indivíduos; e</li> <li>• Atuam em diferentes campos em função da produção, execução ou complementação de algo.</li> </ul>	<p>Aluguel imputado; Comércio; Construção; Correio; Educação mercantil; Educação pública; Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana; Intermediação financeira e seguros; Móveis e produtos das indústrias diversas; Saúde mercantil; Saúde pública; Serviços associativos; Serviços de alojamento e alimentação; Serviços de informação; Serviços de manutenção e reparação; Serviços domésticos; Serviços imobiliários e aluguel; Serviços prestados às famílias; Serviços prestados às empresas; Serviço público e seguridade social; Transporte de carga e de passageiro</p>

Nota: (1) Referem-se aos grupos indicados no PNLT, sendo G1 = grupo 1; G2 = grupo 2; G3 = grupo 3; G4 = grupo 4; e, G5 = grupo 5.

Fonte: Adaptado de MT (2012) e SCN (2008).

Tendo em vista que o modelo matemático desenvolvido nesta dissertação considera uma estrutura de CIL simplificada, voltada para a consolidação de carga e transbordo do modo rodoviário para uma alternativa intermodal (conforme evidenciado na Seção 3.1), foram descartados os produtos dos Grupos 3, 4 e 5.

Embora permitam a utilização do transporte multimodal, os produtos do Grupo 2 caracterizam-se por menores volumes de transporte. Dessa forma, os ganhos de escala potenciais seriam menores, correndo-se o risco de não serem grandes o suficiente para viabilizar a intermodalidade (BEHRENDTS e FLODÉN, 2012; MEISEL *et al.*, 2013). Portanto, estes também foram desconsiderados.

Dentre os produtos do Grupo 1, aqueles com maior relevância para a matriz de cargas nacional (desconsiderando a carga geral e o minério de ferro) são os agrícolas e agroindustriais (COSTA, 2014). Além disso, são aqueles com maior potencial de intermodalidade. Portanto, a análise estaria restrita aos seguintes produtos: cana-de-açúcar; celulose e outras pastas para fabricação de papel; automóveis, milho em grão; óleo de soja em bruto e tortas, bagaços e farelo de soja; produtos da exploração florestal e da silvicultura; produtos das usinas e do refino de açúcar; semi-acabados, laminados planos, longos e tubos de aço; e, soja em grão.

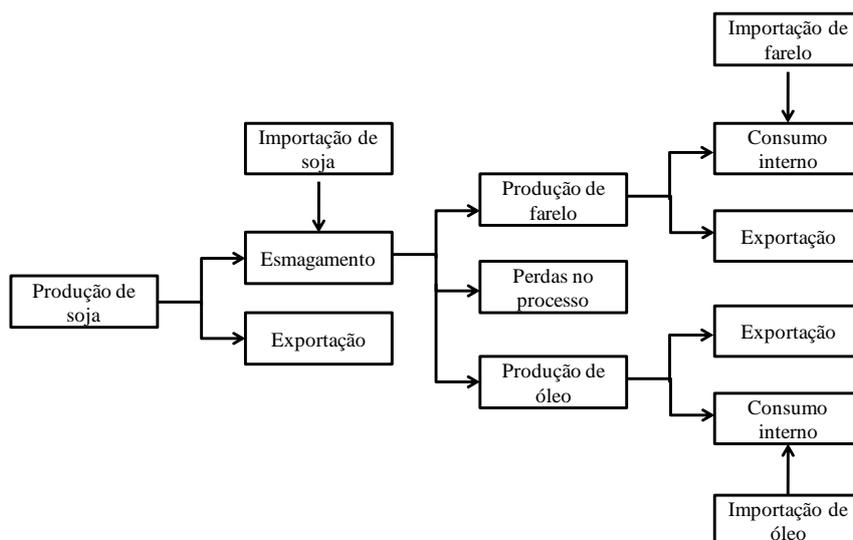
Assim, como um dos objetivos do presente trabalho é comparar os resultados obtidos pelo modelo proposto com os de COSTA (2014), decidiu-se analisar os mesmos produtos definidos pela autora, a saber: soja em grãos, farelo de soja, milho e açúcar. Ressalta-se que a autora justifica a seleção de produtos do Grupo 1 pelas características e particularidades expostas no Quadro 9. Dessa maneira, definidos os produtos que serão analisados na aplicação do modelo proposto, torna-se necessário apresentar as matrizes de produção de consumo de cada um deles (Seção 5.3.1).

### **5.3.1 Matrizes de produção e consumo dos produtos selecionados**

A matriz de origem e destino - O/D representa os fluxos de produção e consumo de determinado produto em um dado território. Para o presente trabalho, adota-se a matriz O/D definida pelo PNLT (MT, 2007). Para cada produto ou cadeia de produtos, são mapeados os principais polos de geração e atração de cargas, o balanço de produção e consumo e a caracterização dos fluxos de transporte internos e externos (COSTA, 2014). A seguir, estão descritas as matrizes O/D dos quatro produtos selecionados para o estudo, indicados na Seção 5.3.

- **Soja**

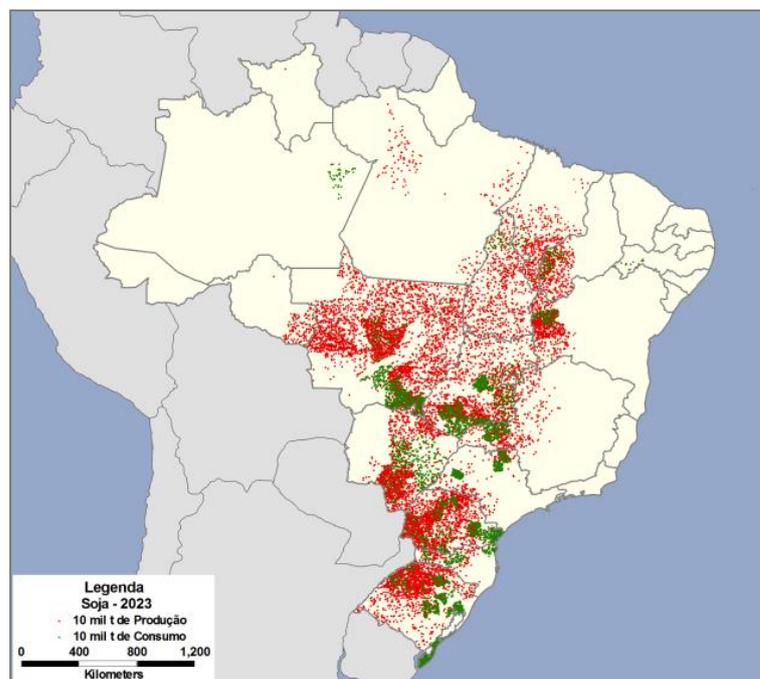
Em relação à soja, têm-se as regiões Sul e Centro Oeste como as principais produtoras, com destaque para a última. Destaca-se que 40,5% da soja em grãos foram destinadas à exportação, em 2007, e o restante foi processado, sendo transformado em farelo e óleo de soja. A Figura 6 apresenta a cadeia produtiva da soja bem como seus principais fluxos de consumo interno, importação e exportação.



**Figura 6:** Cadeia produtiva da soja

Fonte: elaborado com base em MT (2007)

COSTA (2014) explica que as quantidades de produção de soja em grão foram projetadas para 2023 com base nas expectativas de crescimento dos mercados externo e interno, na expansão da fronteira agrícola atual e no aumento da produtividade. Assim, a Figura 7 mostra a oferta (em vermelho) e a demanda (em verde) de soja, previstas para o ano de 2023. De maneira complementar, o Quadro 10 apresenta a matriz O/D deste produto para ano de 2023, consolidada por região do País.



**Figura 7:** Pontos de produção e consumo da soja, previstos para o ano de 2023

Fonte: ANTAQ (2009) e COSTA (2014)

**Quadro 10:** Matriz O/D para a soja – ano 2023.

O/D	Consumo (2023)							<i>Produção Total</i>
	(mil t)	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Exportação	
<b>Produção (2023)</b>	Norte	54	138	0	0	56	8.836	9.084
	Nordeste	91	3.887	65	0	1.251	8.517	13.810
	Sudeste	0	0	4.025	5	215	1.391	5.635
	Sul	0	0	656	25.359	0	6.158	32.172
	Centro-Oeste	707	0	2.763	2.195	29.388	21.355	56.407
<b>Consumo Total</b>	<b>851</b>	<b>4.025</b>	<b>7.508</b>	<b>27.559</b>	<b>30.909</b>	<b>46.256</b>	<b>117.108</b>	

Nota: Não há fluxos de importação previstos para este produto, em 2023.

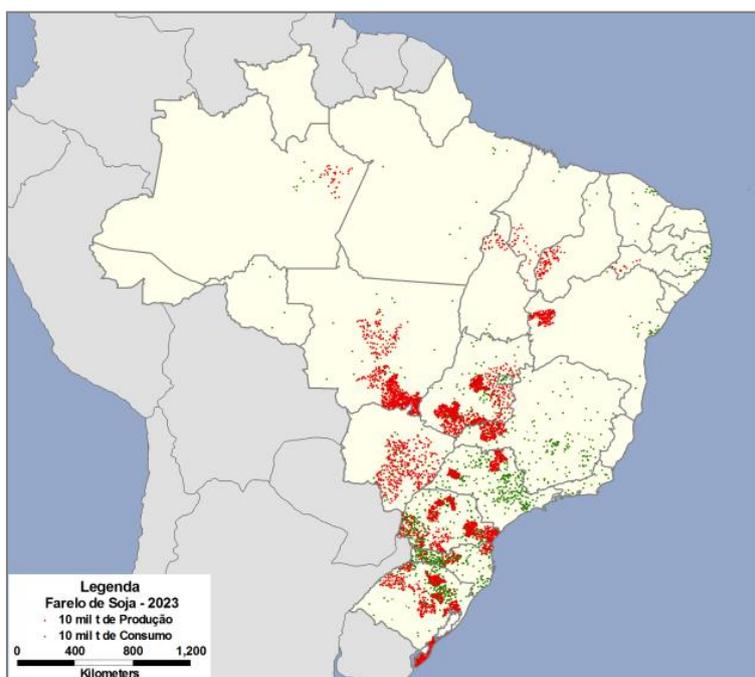
Fonte: Adaptado de ANTAQ (2009) e COSTA (2014)

Salienta-se que o Quadro 10 apresenta os valores agregados, por região geográfica do IBGE, sendo que para aplicação do modelo foram consideradas as demandas par-a-par de cada zona que compõem estas regiões.

Nota-se que a maior parte da produção da soja estimada para 2023 se concentra no Centro Oeste (48,2%), Sul (27,5%) e Nordeste (11,8%). Sendo que a maior parte da soja é exportada (39,5%) e o restante tem como principais pontos de consumo as próprias regiões Centro Oeste (26,4%) e Sul (23,5%). Não há importação deste produto, portanto, considera-se que o país será autossuficiente.

- **Farelo de soja**

O farelo de soja, por sua vez, acompanha o crescimento da produção de soja em grãos, considerando também a instalação de novas esmagadoras de soja nas fronteiras agrícolas. Dessa forma, a Figura 8 apresenta os pontos de oferta (em vermelho) e demanda (em verde) de farelo de soja previstos para 2023, enquanto o Quadro 11 detalha a matriz de origem-demanda deste produto para o ano de 2023, por região.



**Figura 8:** Pontos de produção e consumo de farelo, previstos para o ano de 2023

Fonte: ANTAQ (2009) e COSTA (2014)

**Quadro 11:** Matriz O/D para o farelo de soja – ano 2023.

O/D	Consumo (2023)							Produção Total
	(mil t)	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Exportação	
Produção (2023)	Norte	182	74	0	0	0	402	657
	Nordeste	58	1.162	154	0	50	1.682	3.106
	Sudeste	0	43	1.122	54	10	4.535	5.763
	Sul	0	0	787	5.940	0	14.465	21.192
	Centro-Oeste	302	364	3.400	1.888	2.044	15.738	23.737
Consumo Total		542	1.644	5.463	7.882	2.104	36.821	54.456

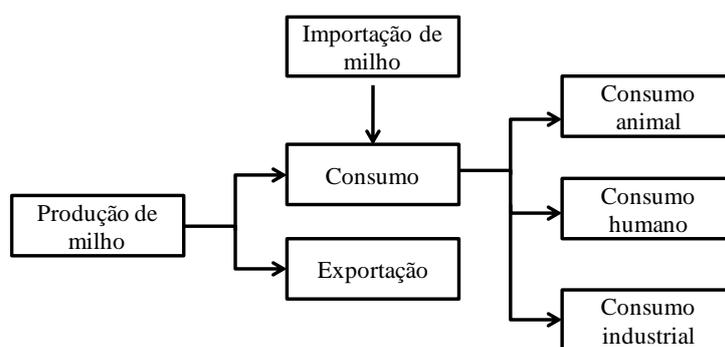
Nota: (1) Os valores estão agregados, por região geográfica do IBGE, sendo que, para aplicação do modelo foram consideradas as demandas par-a-par de cada zona que compõem estas regiões. (2) Não há fluxos de importação previstos para este produto, em 2023.

Fonte: Adaptado de ANTAQ (2009) e COSTA (2014)

Como o farelo é derivado da soja, suas zonas produtivas principais também se concentram no Centro-Oeste (43,6%) e Sul (38,9%), com destaque para o Sudeste (10,6%), no lugar do Nordeste. Sendo seus principais mercados consumidores, o exterior (67,6%), o Sul (14,5%) e o Sudeste (10%). Entretanto, o consumo deste produto no Centro-Oeste, maior zona produtora, é de apenas 3,9% do total. Análogo à soja, o país também será autossuficiente na sua produção, em 2023.

- **Milho**

No que concerne à produção de milho, verifica-se uma distribuição heterogênea entre os estados da federação, sendo o Paraná o maior estado produtor (concentrou 27% da produção em 2007), seguido por Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Mato Grosso (MT, 2012; COSTA, 2014). A Figura 9 apresenta a cadeia produtiva do milho, no país.

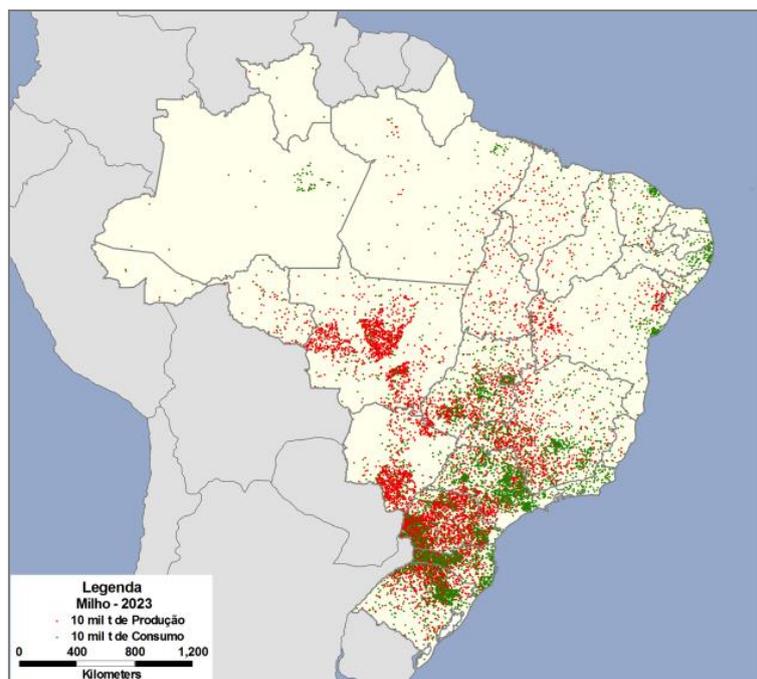


**Figura 9:** Cadeia produtiva do milho

Fonte: Elaborado com base em MT (2007)

A projeção da produção de milho segue um cenário tendencial referenciado à produção de soja, considerando a rotação de culturas e a entrada de novas áreas, além do aumento de produtividade. Já o consumo é vinculado principalmente ao crescimento da produção de carnes avícola e suína e ao crescimento populacional (COSTA, 2014).

Assim, a Figura 10 apresenta as zonas de oferta (em vermelho) e demanda (em verde) de milho, estimadas para 2023. Já o Quadro 12 apresenta a matriz O/D de milho para este mesmo ano, também agregada por regiões.



**Figura 10:** Pontos de produção e consumo de milho, previstos para o ano de 2023

Fonte: ANTAQ (2009) e COSTA (2014)

**Quadro 12:** Matriz O/D para o milho – ano 2023

O/D	Consumo (2023)							<i>Produção Total</i>
	(mil t)	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Exportação	
<i>Produção (2023)</i>	Norte	1.326	420	134	0	5	1.055	2.940
	Nordeste	64	2.991	271	0	0	1.202	4.528
	Sudeste	0	166	10.206	19	0	1.524	11.914
	Sul	0	0	2.971	23.450	6	1.563	27.990
	Centro-Oeste	598	2.443	6.458	5.466	7.710	2.918	25.592
	<i>Consumo Total</i>	1.988	6.019	20.040	28.934	7.721	8.261	72.963

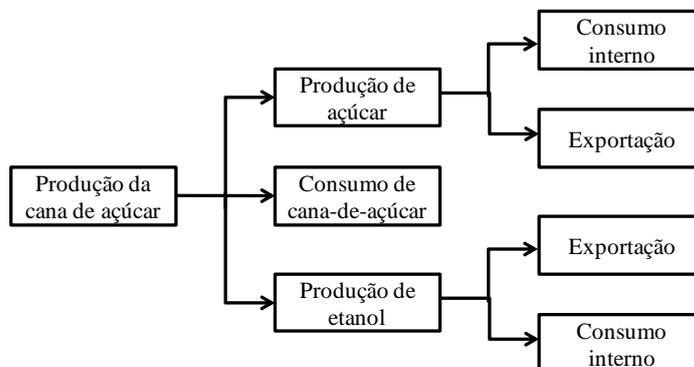
Nota: (1) Os valores estão agregados, por região geográfica do IBGE, sendo que, para aplicação do modelo foram consideradas as demandas par-a-par de cada zona que compõem estas regiões; (2) Não há fluxos de importação previstos para este produto, em 2023.

Fonte: ANTAQ (2009) e COSTA (2014)

Nota-se que as principais regiões produtoras de milho são Sul (38,4%), Centro-Oeste (35,1%) e Sudeste (16,3%), sendo seus principais mercados consumidores, o próprio Sul (39,7%) e o Sudeste (27,5%). Destaca-se que, semelhante aos produtos anteriores, o país também será autossuficiente na produção de milho, em 2023, sendo que 11,3% serão exportadas.

- **Açúcar**

Por fim, o açúcar é um produto oriundo do esmagamento da cana-de-açúcar, cuja produção concentra-se em São Paulo. De todo volume produzido, em 2007, 62,4% foram destinados à exportação (COSTA, 2014). A Figura 11 ilustra a cadeia produtiva da cana-de-açúcar.

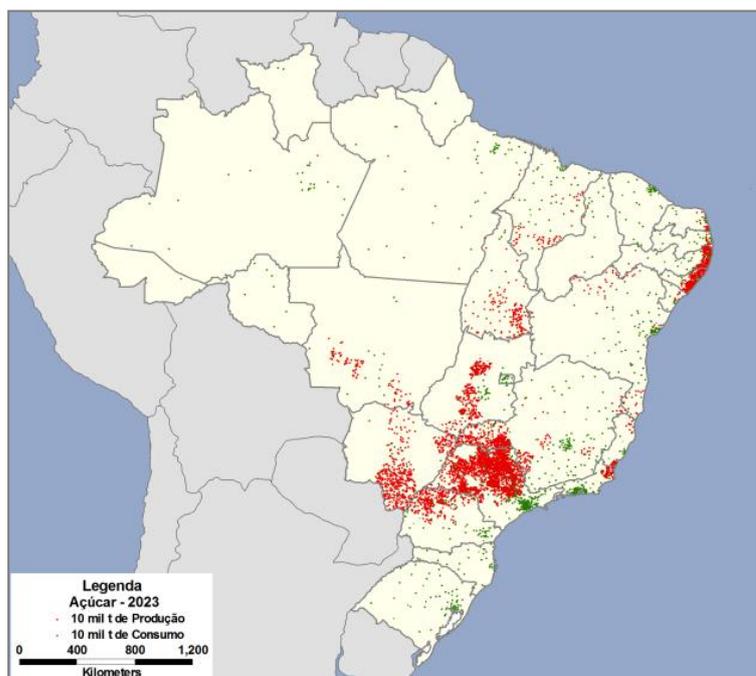


Nota: Segundo o MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (2014), o Brasil é o principal produtor mundial de cana-de-açúcar, açúcar e etanol, responsável por mais da metade do açúcar comercializado no mundo.

**Figura 11:** Cadeia produtiva da cana-de-açúcar.

Fonte: Elaborado com base em MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (2007)

A Figura 12 mostra as zonas da produção (em vermelho) e do consumo (em verde) de açúcar estimadas para o período de 2023, pelo PNLT. O Quadro 13, por sua vez, apresenta a matriz O/D deste produto para o ano 2023.



**Figura 12:** Pontos de produção e consumo de açúcar, previstos para o ano de 2023  
 Fonte: ANTAQ (2009) e COSTA (2014)

**Quadro 13:** Matriz O/D para o açúcar – ano 2023.

O/D	Consumo (2023)							<i>Produção Total</i>
	(mil t)	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Exportação	
Produção (2023)	Norte	339	363	144	68	46	665	1.624
	Nordeste	16	1.791	1	13	0	6.039	7.860
	Sudeste	403	1.761	4.217	1.131	195	23.375	31.082
	Sul	0	0	600	509	12	2.271	3.392
	Centro-Oeste	354	0	971	312	752	6.651	9.040
<i>Consumo Total</i>	<i>1.112</i>	<i>3.915</i>	<i>5.932</i>	<i>2.034</i>	<i>1.005</i>	<i>39.001</i>	<i>52.998</i>	

Nota: Os valores estão agregados, por região geográfica do IBGE, sendo que, para aplicação do modelo foram consideradas as demandas par-a-par de cada zona que compõem estas regiões. Não há fluxos de importação previstos para este produto, em 2023.

Fonte: adaptado de ANTAQ (2009) e COSTA (2014)

No caso do açúcar, a principal região produtora é a Sudeste com 58,6% do total, seguidas pela Centro-Oeste (17,1%) e Nordeste (14,8%). Essa mercadoria é majoritariamente destinada à exportação (73,6%), sendo a região Sudeste a principal consumidora interna (11,2% do total e 42,4% do consumo interno). Como nos demais produtos, considera-se que o país será autossuficiente na produção de açúcar.

Uma vez apresentadas as matrizes de O/D dos produtos analisados no presente estudo, cabe ressaltar que, dentre as 559 regiões nas quais o país foi zoneado – Seção 5.1 - para o ano base de 2007, há a seguinte distribuição:

- **Produção** - 254 microrregiões ofertam soja, 534 milho, 51 farelo de soja e 419 açúcar; e
- **Consumo** - 52 microrregiões consomem soja, sendo que a demanda pelos demais produtos é pulverizada entre 553 microrregiões.

Já para 2023 há pouca variação nas regiões produtoras e consumidoras destes grãos, a única alteração significativa é no consumo de soja, que passa a alcançar 54 microrregiões.

Assim, definidas as matrizes O/D de cada produto com potencial utilização dos CILs, faz-se necessário definir os custos de frete associados ao transporte por cada modo disponível. Ressalta-se que, por questões de simplificação, não estão sendo consideradas as variações de frete por região, adotando-se, portanto, um valor médio por tonelada-km que seja aderente ao estudo. A Seção 5.4 discorre sobre os valores de frete assumidos para cada modo de transporte, bem como para operação dos CILs.

## 5.4 Custos

Os custos de transporte se referem aos custos de movimentação de determinada mercadoria da sua origem ao seu destino final. Dessa forma, diversos fatores podem influenciá-lo, como: o tipo de mercadoria (características físicas influenciam na maneira de transportar e de manusear a carga), o valor associado (sistema de segurança diferenciado, por tipo de carga) e a localização dos pontos de produção e consumo (distância, condição das estradas, número de pedágios, entre outros). Já o valor do frete está relacionado ao valor pago a terceiros para o transporte de mercadorias, incluindo, portanto, a remuneração do transportador (ANTC, 2001; CASTRO, 2003; COSTA, 2014).

Assim, em consonância com COSTA (2014), a aplicação deste trabalho considera que o principal critério de escolha modal é o valor do frete praticado no mercado. Dessa forma, torna-se importante apresentar os valores usados como base para a validação do modelo matemático.

No que diz respeito ao frete rodoviário, a autora trabalha com os dados do Sistema Nacional de Fretes – SIFRECA (USP, 2012), uma vez que os valores dos fretes, neste estudo, são obtidos por meio de pesquisas com as transportadoras. Outra opção seria usar os dados da NTC&Logística, entretanto estes foram descartados pela autora tendo em vista que são baseados em estimativas teóricas, podendo variar devido às pressões de mercado ou à tonelagem média carregada.

A SIFRECA apresenta dados sobre o frete rodoviário de diferentes produtos, considerando os valores praticados pelo mercado, em diferentes pontos de origem e destino no país. O Quadro 14 apresenta os valores de frete mínimo, médios e máximos para os quatro produtos selecionados neste estudo.

**Quadro 14:** Valor máximo, médio e mínimo de frete por produto

Produto	R\$/t.km <sup>(1)</sup>		
	Valor mínimo	Valor médio	Valor máximo
Açúcar	0,0748	0,1606	0,2966
Açúcar Carreteiro	0,0656	0,1369	0,2513
Farelo de Soja	0,1000	0,1346	0,2419
Milho	0,0717	0,1282	0,2857
Soja	0,0702	0,1275	0,2947

Fonte: USP (2012 *apud* COSTA 2014)

No que concerne ao transporte ferroviário, destaca-se que a malha é totalmente concedida, sendo cada trajeto explorado por uma determinada empresa. Os custos do frete foram obtidos juntos à Agência Nacional de Transporte Terrestre – ANTT (2012b), a qual define a tarifa com base em critérios como volume movimentado, sazonalidade da demanda e eficiência nas operações de carga e descarga. Os valores são apresentados por concessionária e por faixa quilométrica. A extensão das faixas varia de acordo com a empresa concessionária (Quadro 15), em função dos fluxos de transporte e da distância percorrida.

**Quadro 15:** Faixas quilométricas das concessionárias de referência.

Concessionária de referência	Faixa Quilométrica			
	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4
Ferrovia Tereza Cristina - FTC	0 – 200 km	201 – 400 km	401 – 600 km	Acima de 600 km
MRS Logística	0 – 300 km	301 – 600 km	601 – 900 km	Acima de 900 km
América Latina Logística - ALL	0 – 400 km	401 – 800 km	801 – 1600 km	Acima de 1600 km
Estrada de Ferro Carajás - EFC	0 – 400 km	401 – 800 km	801 – 1600 km	Acima de 1600 km
Ferroeste	0 – 400 km	401 – 800 km	801 – 1600 km	Acima de 1600 km
Ferrovia Centro Atlântica - FCA	0 – 500 km	501 – 1000 km	1001 – 2000 km	Acima de 2000 km
Transnordestina	0 – 500 km	501 – 1000 km	1001 – 2000 km	Acima de 2000 km
Estrada de Ferro Vitória Minas - EFVM	0 – 600 km	601 – 1000 km	1001 – 2000 km	Acima de 2000 km

Nota: o mapa com os trechos concedidos por ferrovia pode ser obtido em <[http://www.sistemacnt.org.br/informacoes/pesquisas/atlas/2006/arquivos/pdf/Mapa\\_Ferroviano.pdf](http://www.sistemacnt.org.br/informacoes/pesquisas/atlas/2006/arquivos/pdf/Mapa_Ferroviano.pdf)>

Fonte: ANTT (2012b *apud* COSTA, 2014).

Para cada uma dessas faixas, calculam-se os custos variáveis associados ao transporte de determinado produto (R\$/t.km ou m<sup>3</sup>/t.km). Há também um custo fixo associado ao deslocamento de cada tipo de produto, por ferrovia e trecho conforme apresentado no Quadro 16.

**Quadro 16:** Tabela de referência América Latina Logística Malha Oeste S.A.

Concessionária	Mercadoria	Parcela Fixa	Parcela Variável (R\$/t.km)			
		Valor (R\$/t)	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4
ALL Malha Oeste, NOVOESTE e futuras concessões sem operadora	Soja	9,80	0,0922	0,0830	0,0738	0,0553
	Milho, Farelo e Açúcar	14,05	0,1286	0,1157	0,1029	0,0772
ALL Malha Sul e Ferrovia Centro	Soja	9,40	0,0885	0,0797	0,0708	0,0531
	Milho	9,40	0,0849	0,0764	0,0680	0,0510
	Farelo	9,40	0,0888	0,0799	0,0710	0,0533
	Açúcar	9,40	0,0740	0,0666	0,0592	0,0444

Concessionária	Mercadoria	Parcela Fixa	Parcela Variável (R\$/t.km)			
		Valor (R\$/t)	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4
ALL Malha Paulista, CPTM, FEPASA e FERROBAN	Soja, Milho, Farelo	13,42	0,1228	0,1105	0,0983	0,0737
	Açúcar	9,36	0,0764	0,0687	0,0611	0,0485
Estrada de Ferro Carajás	Soja, Milho, Farelo e Açúcar	11,25	0,0482	0,0410	0,0362	0,0241
Ferrovia Norte-Sul	Soja	14,7868	0,0464	0,0464	0,0464	0,0464
	Milho	9,70	0,0876	0,0789	0,0701	0,0526
	Farelo e Açúcar	9,70	0,0916	0,0824	0,0732	0,0549
Ferrovia Tereza Cristina	Soja, Milho, Farelo e Açúcar	961,46	1,6183	1,4160	1,2137	0,8092
Transnordestina	Soja, Milho, Farelo e Açúcar	19,41	0,0947	0,0829	0,0710	0,0474
EFVM	Soja, Milho, Farelo e Açúcar	12,33	0,0737	0,0626	0,0552	0,0368
FCA	Soja	14,37	0,0706	0,0618	0,0530	0,0353
	Milho	13,93	0,0720	0,0630	0,0540	0,0360
	Farelo	20,58	0,0737	0,0645	0,0553	0,0368
	Açúcar	14,55	0,0830	0,0726	0,0622	0,0415
ALL Malha Norte (FERRONORTE)	Soja	9,70	0,0913	0,0822	0,0731	0,0548
	Milho	9,70	0,0876	0,0789	0,0701	0,526
	Farelo	9,70	0,0916	0,0824	0,7320	0,0549
	Açúcar	13,91	0,1273	0,1146	0,1019	0,0764
FERROPAR e FERROESTE	Soja	9,40	0,0885	0,0797	0,0708	0,0531
	Milho	9,40	0,0849	0,0764	0,0680	0,0510
	Farelo e Açúcar	13,49	0,1234	0,1111	0,0987	0,0741
MRS	Soja	7,76	0,0621	0,0575	0,0528	0,0482
	Milho	7,76	0,0568	0,0525	0,0483	0,0440
	Farelo	7,76	0,0638	0,0590	0,0543	0,0495
	Açúcar	4,28	0,0857	0,0792	0,0728	0,0664

Fonte: ANTT (2012b *apud* COSTA, 2014)

Sobre os custos hidroviários, COSTA (2014) explica que não há informações sistematizadas sobre os valores praticados, os quais variam com o tipo de produto, a hidrovia, a empresa transportadora, a distância a ser percorrida e a época do ano. Sendo que esta última impacta diretamente na navegabilidade da hidrovia, conforme verificado pela análise dos dados da Administração da Hidrovia do Paraná - AHRANA (2010), em que o tramo sul da hidrovia Tietê-Paraná fica com sua navegabilidade reduzida durante alguns meses do ano.

Assim, a autora apresenta custos relacionados a estudos da Agência Nacional de Transporte Aquaviário - ANTAQ e do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES. Os dados da ANTAQ (Quadro 17) referem-se aos valores estimados de frete usados no desenvolvimento do PNIH, os quais se baseiam na distância percorrida e no grupo de produto. São calculados, também, os limites inferiores e superiores para o valor de frete, com intervalo de confiança de 95%.

**Quadro 17:** Frete hidroviário, por tipo de carga e faixa de distância (em R\$/t.km)

Classificação	Tipo de produto	Frete Estimado	Mínimo	Máximo
Sem variação <sup>1</sup>	Carga Geral	0,044	0,042	0,046
	Granel Líquido Agrícola	0,068	0,067	0,068
Curta distância <sup>2</sup>	Granel Líquido Combustível	0,135	0,121	0,150
	Granel Sólido	0,059	0,055	0,062
	Granel Sólido Agrícola	0,056	0,054	0,057
Longa distância	Granel Líquido Combustível	0,084	0,074	0,095
	Granel Sólido	0,022	0,021	0,023
	Granel Sólido Agrícola	0,020	0,018	0,023

Notas: (1) Estas cargas não têm variação no frete pela distância percorrida (COSTA, 2014); (2) Curta distância se refere a trajetos de até 1000 km.

Fonte: Adaptado de COSTA (2014) e ANTAQ (2013)

Os dados do BNDES (2011), por sua vez, consideram os fretes praticados nas hidrovias Tietê-Paraná e Tietê-Paraguai (Quadro 18) bem como as taxas de movimentação nos terminais, por tipo de carga.

**Quadro 18** – Estimativa de frete hidroviário, por tipo de carga (R\$/t.km)

Produto	Hidrovia Paraná-Paraguai (R\$/t.km)	Hidrovia Tietê-Paraná (R\$/t.km)	Terminal (R\$/t)
Minério de ferro	0,0296	-	8,33
Granéis sólidos	0,0265	0,0586	8,33
Granéis líquidos	0,0532	-	6,75

Fonte: BNDES (2011 *apud* Costa, 2014)

Analisando os Quadros 17 e 18, percebe-se que o frete para granéis sólidos praticado na hidrovia Paraná-Paraguai é semelhante aos fretes de granéis sólidos e sólidos agrícolas de longa distância, estimados pela ANTAQ (2013). Da mesma forma, o valor de frete da hidrovia Tietê-Paraná equivale aos valores dos fretes de curta distância dos granéis sólidos e sólidos agrícolas do Quadro 18. Assim, para realização deste trabalho, adotou-se o valor de frete hidroviário médio para granéis vegetais de R\$ 0,05/ tonelada, em acordo com COSTA (2014).

Quanto aos custos de movimentação de carga, armazenagem e serviços logísticos em um CIL, estes variam de acordo com o tipo de carga movimentada, os tipos de modo disponíveis para integração e os tipos de serviços oferecidos. Sendo assim, é importante compreender os parâmetros adotados para a definição dos custos de movimentação. São eles:

- 1) Considera-se que o CIL permite apenas a integração rodo-ferroviário ou rodo-hidroviária, como definido na Seção 5.2. Elucida-se que pode haver uma nova troca modal, no meio do percurso entre um CIL e seu destino final. Contudo,

não são consideradas as opções: aérea, dutoviária e cabotagem marítima. Salienta-se que por questões de simplificação, não foram consideradas as capacidades das malhas rodoviária e ferroviária para alocação dos fluxos; e

- 2) Estabeleceu-se que a estrutura não oferece serviços adicionais, como armazenagem ou agregação de valor às cargas. O CIL permite apenas a consolidação de carga para o uso de modos de maior capacidade, como evidenciado na Seção 3.1.

Assim, como custos variáveis de utilização de um CIL, têm-se: (1) custo de armazenagem para refletir a consolidação de cargas, visto que o recebimento e a expedição não acontecem de forma simultânea; (2) custos referentes à manipulação interna da carga, os quais variam de acordo com o volume movimentado; e, (3) taxa administrativa, estipulada em 10% do custo variável para representar os custos de manutenção da estrutura.

Em relação à parcela fixa, considera-se apenas o custo de aluguel do CIL. Assim, para definir os valores fixos e variáveis, a autora utilizou como base o Quadro 19, que apresenta os valores praticados pela Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2013 *apud* COSTA 2014).

**Quadro 19:** Tabela de tarifas para produtos vinculados à Política de Garantia de Preços Mínimos e estoques estratégicos (março de 2013).

Discriminação	Valor	Unidade
<b>1- Recebimento ou Expedição</b>		
a) Ensacado (recepção/expedição)	1,88	R\$/tonelada
b) A Granel (recepção)	2,10	R\$/tonelada
c) A Granel (expedição)	2,10	R\$/tonelada
d) Enfardado (recepção/expedição)	2,07	R\$/tonelada
e) Sacaria vazia enfardada (recepção/expedição)	1,37	R\$/1.000 Sac.
f) Operações via ferroviária (valor a acrescentar)	1,21	R\$/tonelada
g) Operações via hidroviária (valor a acrescentar)	1,21	R\$/tonelada
<b>2- Sobretaxa (quinzena civil infracionada)</b>		
h) Arroz, milho, feijão, sorgo, soja, trigo, cevada, centeio e triticale	0,150	%
i) Fibras enfardadas, soltas ou embonecadas	0,075	%
j) Farinha de mandioca, pó cerífero e cera de carnaúba	0,050	%
k) Sacaria vazia e demais embalagens, fécula de mandioca	0,025	%
<b>3- Armazenagem e conservação (quinzena civil infracionada)</b>		
l) Sacaria vazia enfardada	3,17	R\$/1.000 Sac.
m) Sacaria mag-bag vazia	0,14	R\$/unidade
n) Cera de carnaúba e pó cerífero ensacados	2,12	R\$/tonelada
o) Lata para sementes de juta (32x15x15) cm	0,53	R\$/100 unid.
p) Sisal ramí e juta/malva (fibras soltas ou embonecadas)	7,59	R\$/tonelada
q) Granéis líquidos		
q-1) óleos vegetais	2,01	R\$/tonelada
q-2) vinhos comuns	1,76	R\$/1.000 litros

<b>Discriminação</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
q-3) vinhos vniferas	2,01	R\$/1.000 litros
q-4) mosto sulfitado e álcool vnico	2,42	R\$/1.000 litros
r) Leite em p ensacado	6,92	R\$/m <sup>2</sup>
s) Café em grãos	2,83	R\$/tonelada
t) Demais produtos		
t-1) ensacados	1,46	R\$/tonelada
t-2) a granel (arroz, cevada, malte crescer 30%, aveia 50%)	2,01	R\$/tonelada
t-3) enfardados	3,17	R\$/tonelada
<b>4- Taxa de Administração</b>	10	%
<b>5- Secagem</b>		
u) Produtos c/ até 16% de umidade (arroz ou outros grãos destinados a sementes)	13,13	R\$/tonelada
v) Idem para outros Produtos	8,95	R\$/tonelada
x) Para cada percentual acima de 16% acrescentar	8	%
<b>6- Limpeza</b>	2,37	R\$/tonelada
<b>7- Emissão de warrants/conhecimento de depósito/CDA/WA</b>	8,00	R\$/documento
<b>8- Comissão de permanência</b>	conf.obs	-
<b>9- Serviços de Braagem</b>	conf.obs	-
<b>10- Serviços não especificados</b>	a combinar	-

Notas: (1) Serviços executados após o expediente normal são acrescidos de 50%. Em domingos e feriados, o acréscimo  de 100%. (2) Nos itens 1 – 5 há um acréscimo de 10% se os equipamentos usados forem movidos a gerador.

Fonte: CONAB (2013 *apud* COSTA, 2014)

Seguindo os parâmetros de COSTA (2014), foram considerados os itens “b” e “c” como custos de recebimento e expedição. Além disso, como há integração rodo-ferroviária ou rodo-hidroviária, faz-se necessário considerar também os valores previstos nos itens “f” e “g”.

Em relação à sobretaxa, definiu-se que seriam considerados os valores do item “h”, para todos os produtos movimentados, de forma a simplificar a aplicação realizada. Quanto à armazenagem e conservação, estabeleceu-se um período de armazenagem de 15 dias, sem a necessidade de serviços adicionais (valor apresentado em t-2, no Quadro 19). Assim, os valores usados para a aplicação do modelo estão sintetizados no Quadro 20.

**Quadro 20:** Custos de operação do CIL.

<b>Composição do custo variável</b>	<b>Valor (R\$/tonelada)</b>	<b>Composição do custo fixo</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Recepção de cargas granéis	2,10	Custo fixo de utilização do CIL <sup>1</sup>	1,00
Expedição de cargas granéis	2,10		
Operaoes ferroviárias ou hidroviárias	1,21		
<b>Subtotal 1</b>	<b>5,41</b>		
Sobretaxa quinzenal para granéis (0,150%)	0,008		
Armazenagem e conservação quinzenal para granéis	2,01		
<b>Subtotal 2</b>	<b>7,43</b>		
Taxa de administração (10%)	0,743	<b>Custo fixo total</b>	<b>1,00</b>
<b>Custo variável total</b>	<b>8,17</b>		

Nota: (1) COSTA (2014) adota um valor simbólico de abertura e uso do CIL, o qual será replicado neste trabalho.

Destaca-se que COSTA (2014) considerou como custo de transbordo o valor de R\$ 1,21 apresentado no Quadro 19. Ressalta-se que, para validação do modelo, não foram considerados valores de investimentos associados à abertura de um determinado CIL. Esta decisão tem em vista que o governo abriria a estrutura independente dos custos a ela associados, por se tratar de uma diretriz de transporte prevista nos planos estratégicos, conforme demonstrado na Seção 2.2.

Em relação às capacidades máximas e mínimas requeridas para abertura de um CIL, definiu-se como limitante inferior, o volume mínimo de 1 milhão de toneladas para instalação de um CIL em determinada região. Ressalta-se que este volume pode ser composto por qualquer um dos quatro produtos selecionados, não havendo restrições em relação a isso.

Segundo COSTA (2014), esse valor de R\$ 1 milhão de toneladas foi definido para que se atendam as exigências dos contratos de transporte hidroviário ou ferroviário. Além disso, se não houvesse limitante inferior, correr-se-ia o risco do modelo indicar a abertura de uma estrutura para o transporte de um volume pequeno de carga, por exemplo, 10 toneladas – desde que isso reduzisse o custo global de transporte. Isso poderia acontecer justamente pela não fixação de um valor de investimento/implantação da estrutura.

Quanto aos limites máximos de capacidade, não foi definido um limitante superior, para que se pudesse, inicialmente, estabelecer todas as possíveis microrregiões produtoras. Assim, considerou-se a capacidade máxima equivalente ao somatório da produção de todos os produtos, sendo equivalente a 309.913.580 toneladas, em 2023.

### **5.5 Outros pressupostos adotados para a validação do modelo**

Para composição do cenário referencial, além das definições feitas nas Seções 5.1 a 5.4 foram adotados os seguintes pressupostos:

- 1- O transporte de determinado produto de uma zona de produção para uma região de consumo tem, em geral, dois caminhos possíveis: (i) transferência direta entre a origem e o destino, exclusivamente pelo modo rodoviário; e, (ii) uso do CIL, sendo que a carga chega à estrutura apenas pelo modo rodoviário e é transbordada para uma opção intermodal;
- 2- A matriz de transportes brasileira está focada no modo rodoviário (58% das cargas) e o PNLT propõe um reequilíbrio da matriz, com maior participação dos modos aquaviário e ferroviário (como demonstrado na Seção 2.2). Por isso, o

modelo matemático proposto considera que todas as cargas que entram em um CIL são transbordadas para uma opção intermodal envolvendo o modo aquaviário e/ou ferroviário (dependendo da existência da malha), privilegiando aquela conexão de menor custo total. Portanto, o trajeto a partir do CIL é feito por um modo de maior capacidade que o rodoviário, assumindo que o local de destino tem infraestrutura (terminais e equipamentos) para receber a carga ferroviária ou aquaviária. Destaca-se que essa opção intermodal pode envolver transbordos após o CIL, sendo que o transporte rodoviário pode compor uma das opções intermodais (rodo-ferro-aqua, rodo-ferro, aqua-ferro, aqua-rodo), dependendo do custo de transporte total. Ressalta-se ainda que o custo dos transbordos após o CIL, quando existentes, não foram considerados por questões de simplificação;

- 3- Para definição das viagens realizadas por cada modo de transporte, inicialmente, calcularam-se as distâncias entre cada par O/D pelas opções de transporte disponíveis (rodoviárias e multimodais). Esse cálculo foi feito por meio do TRANSCAD (CALIPER, 2014) usando a base georreferenciada do PNLT (Seção 5.2). Em seguida, com base nas distâncias são identificados os fretes por tipo de produto e modo de transporte, permitindo que se calculem os custos de viagem entre cada par O/D (passando ou não por um CIL), conforme o tipo de rota considerada;
- 4- Tendo em vista que um CIL pode variar de acordo com o grau de especialização e os tipos de serviços ofertados, para estabelecimento dos cenários definiu-se que o CIL teria uma estrutura simplificada, com apenas serviço de transbordo e consolidação de carga; e
- 5- Para seleção das microrregiões potenciais para instalação de CILs (locais candidatos), adotaram-se como critérios: a existência de entroncamentos modais (conexões rodo-ferroviárias, por exemplo) e a identificação das microrregiões que concentrarão 80% da oferta dos quatro produtos, em 2013, conforme COSTA (2014). Assim, foram pré-selecionadas 80 zonas dentre as quais o modelo matemático indicaria as regiões de instalação. Ao determinar que as microrregiões pré-selecionadas concentrarão, em 2023, 80% da produção, atende-se ao critério de proximidade com as zonas produtoras (potenciais clientes do CIL), ainda que indiretamente. Isto está em consonância com que

indicam CHOPRA e MEINDL (2011), em que a proximidade das zonas produtoras é como um dos critérios para localização de instalações.

Apresentados os parâmetros e os pressupostos adotados para a validação do modelo, o Capítulo 6 discute os principais resultados encontrados, comparando-os com o modelo de COSTA (2014).

## 6 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para resolução do modelo de localização-alocação proposto no Capítulo 4, com os parâmetros definidos no Capítulo 5, foi necessário desenvolver um programa em linguagem de programação C++, em função das diferentes bases de dados que o problema requer analisar e, usou-se o *software* de otimização IBM ILOG CPLEX 12.5 (IBM, 2014). Ressalta-se que a solução ótima foi obtida com tempo de solução máximo de 0,4 segundos, por meio de um computador com processador Intel Xeon 3.16 Ghz e 8 Gbits de memória RAM rodando o sistema Operacional Ubuntu 12.04.5 LTS.

Destaca-se, contudo, que como na primeira rodada de testes, a solução tornou-se inviável, em termos de tempo e memória, por conta do número de variáveis de decisão, foi necessário fazer um pré-processamento como descrito na Seção 6.1. Após, fazê-lo foi possível chegar aos resultados e compará-los com aqueles obtidos pelo modelo de COSTA (2014).

Salienta-se que os resultados da autora não foram retirados da tese: aplicou-se novamente o modelo matemático dela com a mesma base de dados usada para validação do modelo proposto nesta dissertação, a fim de que a discussão de resultados fosse a mais confiável e fidedigna possível, tendo em vista que erros poderiam ocorrer pelo uso não-intencional de base de dados diferentes, o que invalidaria as discussões do trabalho.

Dessa forma, este capítulo está dividido nas seguintes seções: (1) descrição do pré-processamento das variáveis e restrições do problema; (2) apresentação e análise dos resultados encontrados; e, (3) comparação com os resultados de COSTA (2014).

### 6.1 Pré-processamento das variáveis e restrições

Como mencionado na Seção 4.2, para aplicação do modelo matemático proposto, foi necessário realizar um pré-processamento de forma a reduzir o número de variáveis e restrições do problema a fim de encontrar uma solução viável. Tendo em vista que o problema envolve 559 zonas de produção e 559 zonas de consumo, mais 80 regiões candidatas à instalação de CILs, a quantidade de variáveis tornou o problema de escala excessiva para ser resolvido no sistema computacional disponível, não sendo possível resolvê-lo com o CPLEX.

Para tanto, foram feitos dois tipos de pré-processamento com objetivo de eliminar variáveis e restrições redundantes ou desnecessárias:

1. Inicialmente, foram removidas da base de dados do problema todas as variáveis

$x_{pijm}^{dir}$ ,  $x_{pikm}^{ent}$ ,  $x_{pkjm}^{sai}$  e  $Y_{pikj}$  que não estivessem envolvidas com uma demanda

par-a-par. É o caso, por exemplo, em que na matriz origem-destino de determinada zona de produção não envie nenhuma unidade do produto  $p$  a uma zona de consumo específica. Neste caso, as variáveis associadas a esta ligação são removidas; e

2. Foi verificado se o custo de transportar o produto  $p \in P$  entre a zona de produção  $i \in I$  e a zona de consumo  $j \in J$  de forma direta é menor do que o custo de transporte pelo intermédio de um candidato a CIL  $k \in K$ . Para as situações em que o custo de transporte por meio do CIL foi identificado como maior que o custo direto, definiu-se que tais produtos não usariam o CILs como intermediário e, portanto, todas as variáveis relacionadas a esta opção foram removidas do problema, sem prejuízo a sua solução. Destaca-se, contudo, que as opções restantes não serão necessariamente movimentadas por intermédio de um CIL, tendo em vista que o(s) candidatos a CIL(s) que proporcionaria(m) o menor custo quando comparado com a opção de transporte direto pode(m) não ser aberto(s) por insuficiência de volume (não alcançou a capacidade mínima); ou podem já ter alcançado a capacidade máxima. Dessa forma, o transporte entre as zonas de produção e demanda seria feito de maneira direta.

As diferenças entre o número de variáveis originais e após o pré-processamento estão descritas no Quadro 21.

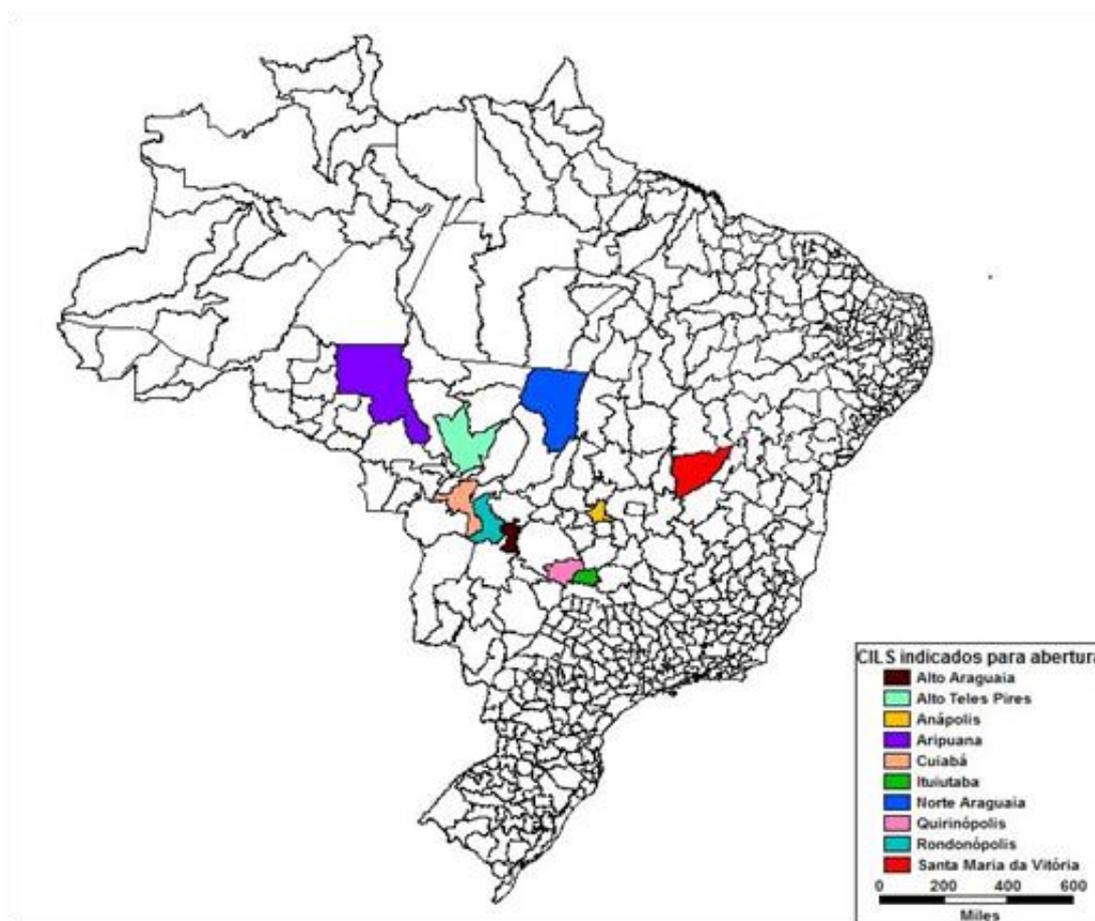
**Quadro 21:** Comparação do número de variáveis dos modelos

Variáveis	Costa (2014)	Original	Com pré-processamento
$x_{pijm}^{dir}$	1.249.924	1.249.924	46.362
$x_{pikm}^{ent}$	178.880	178.880	7.265
$x_{pkjm}^{sai}$	178.880	178.880	7.912
$y_{pikj}$	-	99.993.920	28.605
Z	80	80	80
Tempo de solução	85,07 segundos	Não solucionou	0,4 segundos

Verifica-se, pela análise do Quadro 21 que o pré-processamento reduziu significativamente a quantidade de variáveis, tanto em relação ao modelo original, quanto em relação ao modelo de COSTA (2014). Isso fez com que o tempo de solução do modelo proposto fosse equivalente a 0,47% do tempo gasto pelo modelo da autora. Elucidado o pré-processamento realizado, a Seção 6.2 discorre sobre os resultados obtidos neste estudo.

## 6.2 Resultados da aplicação do modelo proposto

Por meio da aplicação do modelo matemático, usando os parâmetros descritos no Capítulo 5, foram abertos 10 (dez) CILs, cujas localizações geográficas estão apresentadas na Figura 13. Destaca-se que foi indicada uma localidade a menos para abertura de CILs, quando comparado com os resultados obtidos pela aplicação do modelo de COSTA (2014), como será detalhado na Seção 6.3.



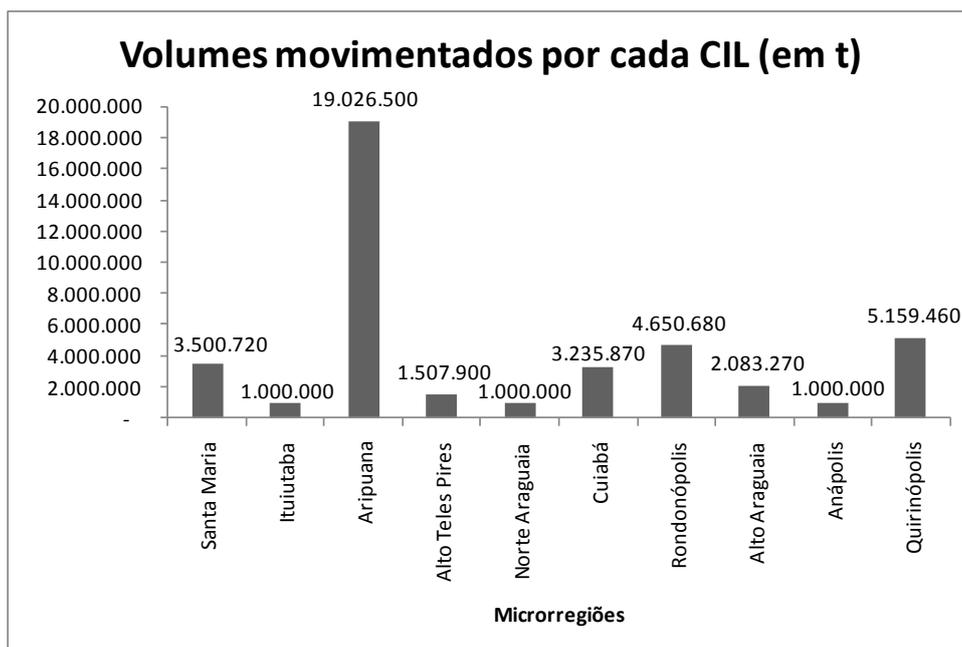
**Figura 13:** Localização geográfica dos CILs indicados para abertura

Fonte: Elaboração própria com a utilização do *software* TRANSCAD

Nota-se que, com exceção das microrregiões de Santa Maria de Vitória – BA e Ituiutaba – MG, todas as localidades indicadas para abertura dos CILs estão na região centro-oeste, o que pode ser explicado pela proximidade com as zonas de produção (conforme demonstrado nas Figuras 7, 8, 10 e 12 da Seção 5.3.1).

São movimentadas, ao todo, 42.164.400 toneladas (t), sendo que a soja representa 45% do volume total transportado, seguida pelo milho (23%), o farelo (22%) e o açúcar (10%). A distribuição dos volumes totais movimentados por CIL está apresentada na Figura 14.

Verifica-se que o CIL de maior movimentação é o da microrregião de Aripuana, representando 45,1% do volume transportado por intermédio de centros de integração, seguido por Quirinópolis e Rondonópolis, com 12,2% e 11%, respectivamente. As demais estruturas têm um volume de movimentação abaixo de 4.000.000 t. Destaca-se que os CILs das microrregiões de Ituiutaba, Araguaia e Anápolis movimentam exatamente a quantidade mínima exigida para abertura do CIL (representando 2,4% da movimentação total, em cada estrutura).

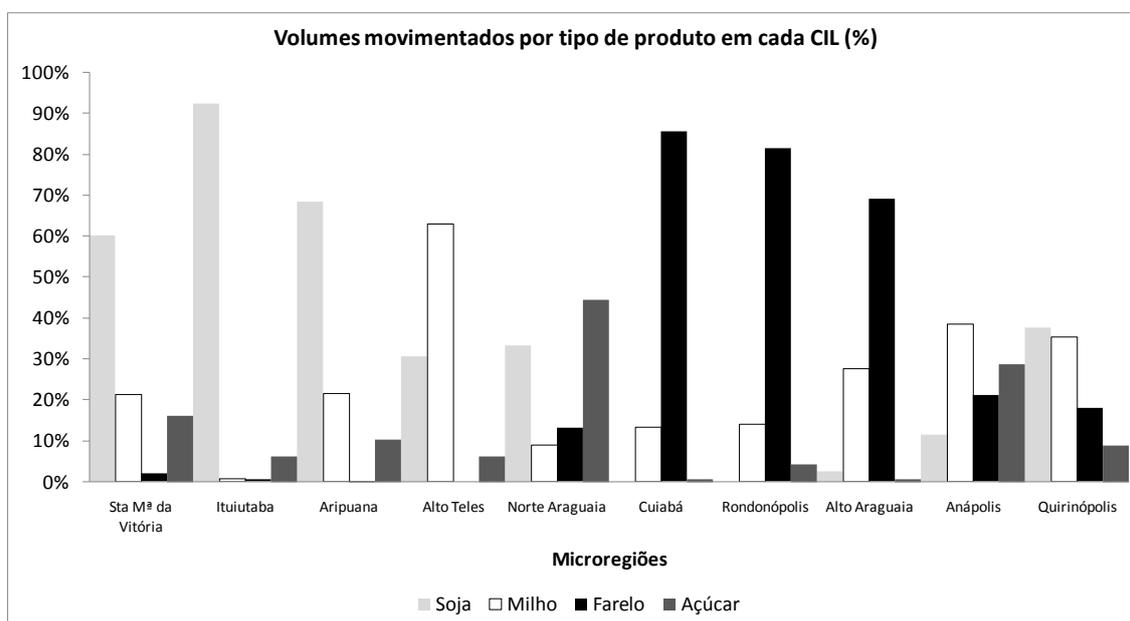


**Figura 14:** Distribuição da movimentação por CIL

Sobre o *mix* de produtos movimentados em cada CIL, a Figura 15 apresenta os percentuais registrados em cada uma das estruturas. A soja é o produto com maior movimentação nos CILs das microrregiões Santa Maria da Vitória (60,3%), Ituiutaba (92,5%), Aripuana (68,5%) e Quirinópolis (37,8%). O milho, por sua vez, se destaca em Alto Teles Pires (63%) e Anápolis (38,5%) enquanto o farelo é o produto mais representativo em Cuiabá (85,8%), Rondonópolis (81,5%) e Alto Araguaia (69,2%). Já o açúcar é o produto que se destaca no CIL da microrregião de Norte Araguaia (45%).

O CIL da microrregião de Ituiutaba é praticamente dedicado à soja, movimentando apenas 6,2% de açúcar, 0,7% de milho e 0,6% de farelo. Em contrapartida, os CILs de Quirinópolis e Anápolis são os com movimentação mais equilibrada, sendo: 37,8% e 11,6% de soja; 35,3% e 38,5% de milho; 18,1% e 21,1% de farelo; e, 8,9% e 28,1% de açúcar em cada CIL, respectivamente. Embora a soja

represente 45% do volume transportado, ela não é movimentada no CIL da microrregião de Rondonópolis e representa apenas 0,004% do volume do CIL de Cuiabá.



**Figura 15:** Volume percentual de movimentação de cada produto nos CILs abertos

O farelo, por sua vez, tem movimentação reduzida nos CILs de Santa Maria da Vitória (2%), Ituiutaba (0,6%) e Aripuana (0,1%), não sendo transportado em Alto Teles Pires. O milho tem participação nos CILs de todas as microrregiões, registrando a menor movimentação em Ituiutaba (0,7%) e a maior em Alto Teles Pires (63%). O açúcar também é movimentado em todos os CILs, representando 0,7% do volume de Alto Araguaia e 0,8% de Cuiabá e, no outro extremo, 44% de Norte Araguaia.

Destaca-se que, embora determinado produto tenha uma baixa participação percentual em um CIL específico, é importante analisar sua tonelada movimentada, pois ela pode ser relevante em relação ao total. Por exemplo, a movimentação de açúcar em Aripuana representa apenas 10,3% (equivalente a 1.967.020 t) deste CIL, mas o volume de movimentação de açúcar desta estrutura é superior ao total movimentado nos CILs localizados nas microrregiões de Ituiutaba (1.000.000 t), Alto Teles (1.507.900 t), Norte Araguaia (1.000.000 t) e Anápolis (1.000.000 t).

Além disso, é importante avaliar a redução de custos proporcionada pela movimentação de cada produto nas estruturas “abertas”. Dessa forma, o Quadro 22 descreve os principais resultados obtidos pela aplicação do modelo proposto, em termos de volume, custo e economia por tipo de produto em cada CIL.

**Quadro 22:** Resumo dos resultados encontrados pela aplicação do modelo matemático proposto

Parâmetros		CILs									
		<i>Sta Mª da Vitória</i>	<i>Ituiutaba</i>	<i>Aripuana</i>	<i>Alto Teles</i>	<i>Norte Araguaia</i>	<i>Cuiabá</i>	<i>Rondonópolis</i>	<i>Alto Araguaia</i>	<i>Anápolis</i>	<i>Quirinópolis</i>
Soia	Vol. (t)	2.110.000	925.300	13.024.590	464.560	334.040	140	0	53.420	115.560	1.949.660
	Vol. (%)	60,3	92,5	68,5	30,8	33,4	0,004	-	2,6	11,6	37,8
	Custo (R\$)	225.277.712	100.476.264	1.862.313.728	67.544.976	90.151.464	37.661	-	17.358.188	21.498.264	344.501.088
	Econ.(R\$) <sup>1</sup>	32.789.472	7.605.120	942.169.856	4.320.392	24.999.216	10.287	-	265.576	9.968.778	3.928.736
	Econ. (%)	12,7	7,0	33,6	6,0	21,7	21,4	-	1,5	32,0	1,1
Milho	Vol. (t)	749.180	6.710	4.020.950	949.540	89.530	432.230	657.840	573.180	385.210	1.819.960
	Vol. (%)	21,4	0,7	21,5	63	9	13,36	14,1	27,5	38,5	35,3
	Custo (R\$)	102.467.728	425.047	659.419.072	352.761.888	28.229.590	83.114.528	109.339.440	115.092.208	142.361.568	368.590.784
	Econ. (R\$)	10.961.904	41.870	260.881.664	22.651.680	2.754.490	3.374.528	2.678.680	1.718.328	13.741.440	3.308.864
	Econ. (%)	9,6	8,9	28,3	6,0	8,9	3,9	2,4	1,5	9,0	0,9
Farelo	Vol.(t)	71.210	6.280	13.940	0	131.260	2.776.440	3.790.490	1.441.810	211.070	931.520
	Vol. (%)	2,0	0,6	0,1	-	13,1	85,8	81,5	69,2	21,1	18,1
	Custo (R\$)	23.801.526	1.085.303	4.677.329	-	61.807.036	572.007.488	676.478.336	209.667.872	46.940.028	118.239.920
	Econ. (R\$)	1.168.788	69.559	895.274	-	9.833.676	12.765.376	16.624.384	4.635.040	3.791.512	6.443.392
	Econ. (%)	4,7	6,0	16,0	-	13,7	2,2	2,4	2,2	7	5,2
Açúcar	Vol.(t)	570.330	61.710	1.967.020	93.800	445.170	27.060	202.350	14.860	288.160	458.320
	Vol. (%)	16,3	6,2	10,3	6,2	44,5	0,8	4,4	0,7	28,8	8,9
	Custo (R\$)	137.127.072	24.674.102	402.095.008	43.828.064	138.766.160	10.738.899	44.309.736	6.404.020	129.775.968	102.829.392
	Econ. (R\$)	17.756.816	3.077.306	155.750.176	4.196.188	14.683.296	323.423	1.641.648	235.905	8.700.016	2.395.152
	Econ. (%)	11,5	11,1	27,9	8,7	9,6	2,9	3,6	3,5	6	2,3
<b>Volume total</b>		3.500.720	1.000.000	19.026.500	1.507.900	1.000.000	3.235.870	4.650.680	2.083.270	1.000.000	5.159.460
<b>Custo total</b>		488.674.038	126.660.717	2.928.505.137	464.134.928	318.954.250	665.898.576	830.127.512	348.522.288	340.575.828	934.161.184
<b>Econ. total</b>		62.676.980	10.793.855	1.359.696.970	31.168.260	52.270.678	16.473.614	20.944.712	6.854.849	36.201.746	16.076.144

**Nota:** Vol. = volume movimentado; Econ. = economia. (1) "Economia" se refere à diferença de custo entre a opção do transporte rodoviário direto entre as origens e destinos e a opção de utilização do CIL; (2) Os valores em centavos foram desconsiderados; e (3) As células marcadas em cinza destacam o maior valor em cada linha.

Pela análise do Quadro 22, verifica-se que o custo total de transporte associado à utilização dos CILs é equivalente a R\$ 7.446.214.559,67. Deste total, 37% estão associados ao transporte da soja (que representa 45% do volume total), 26% do milho, 23% do farelo e 14% do açúcar. Nota-se que a distribuição percentual dos custos converge com a participação de cada produto na movimentação total, sendo que os produtos com maior movimentação representam a maior parcela de desembolso.

Entretanto, o maior custo por tonelada movimentada é o do açúcar (R\$ 252,02), seguido pelo milho (R\$ 202,57), farelo (R\$ 182,92) e soja (R\$ 143,81). Destaca-se que o custo unitário médio de movimentação é de R\$ 176,60/t, sendo a movimentação de soja, portanto, mais eficiente.

Os custos totais (considerando os quatro produtos selecionados) associados à movimentação por CIL em cada uma das microrregiões variam de R\$ 126 milhões em Ituiutaba a R\$ 2,9 bilhões em Aripuana (valor 23,1 vezes maior). Destaca-se que os três CILs com maior movimentação (68% acumulado), também foram aqueles que contribuíram com a maior parcela para o custo total, sendo: 39,3% para Aripuana, 12,5% para Quirinópolis e 11,1% para Rondonópolis.

Os CILs abertos com a quantidade mínima exigida (1.000.000 t) contribuíram com parcelas diferenciadas, representando: 1,7% Ituiutaba, 4,3% Norte Araguaia e 4,6% Anápolis. Nota-se que, embora a estrutura de Alto Araguaia movimente mais que o dobro de Anápolis, seus custos são semelhantes (representando 4,7% do custo total de movimentação). Os custos dos demais CILs representam de 6,2% a 8,9% do total.

Dentre os CILs e produtos analisados, percebe-se que o maior custo de transporte está associado à movimentação de soja em Aripuana, equivalente à R\$ 1.862.313.728. Este valor representa 63,6% do custo total deste CIL e 25% do custo total considerando as movimentações em todos os CILs. Entretanto, representa também a maior economia entre todos os CILs e produtos, R\$ 942.169.856, representando 58,4% da economia total obtida pelo transporte por intermédio de CILs.

O segundo maior custo está associado ao transporte de farelo em Rondonópolis (R\$ 676.478.336), o qual proporciona uma economia de R\$ 16.624.384 (1% do total). Em seguida, tem-se o transporte de milho em Aripuana com custo de R\$ 659.419.072 (8,9% do total) e economia de R\$ 260.881.664 (16,2% do total).

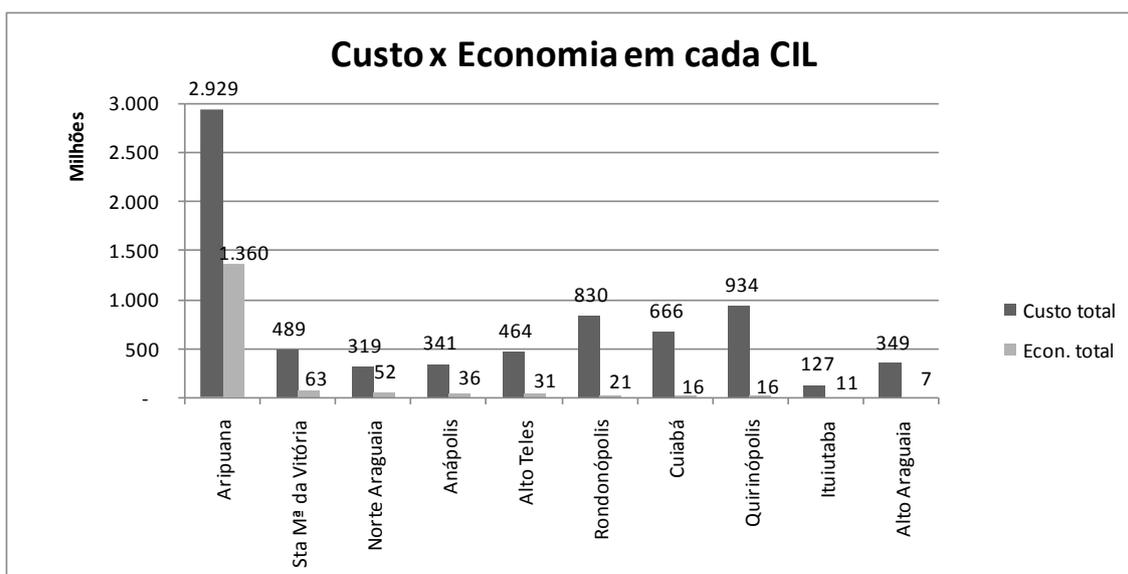
Quanto ao açúcar, o CIL de Aripuana representa o quinto menor custo total, equivalente a R\$ 402.095.008 (ficando atrás do transporte de farelo em Cuiabá), com

uma economia de R\$ 155.750.176, que é a terceira maior economia financeira proporcionada pelo uso de CIL para o transporte de determinado produto.

Contudo, como se trata de uma análise do ponto de vista estratégico, é importante abordar a economia total proporcionada por cada CILs, bem como relacioná-los aos custos associados ao transporte pelo intermédio destas estruturas.

O custo total de transporte considerando os fluxos diretos e por intermédio dos CILs foi de R\$ 25,187 bilhões, sendo que 29,6% se referem ao transporte por meio de CILs. Destaca-se que a economia obtida pelo uso destas estruturas é de R\$ 1,61 bilhões, sendo equivalente a 22% dos custos de movimentação pelos CILs e 6% do total.

O CIL com maior economia global é o de Aripuana - MT (84,3% do total), seguido por Santa Maria da Vitória - BA (3,9%) e Norte Araguaia - MT (3,2%). A economia dos demais CILs varia de 0,4% no Alto Araguaia a 2,2% em Anápolis. A relação entre custos e economia de cada CIL encontra-se na Figura 16.



Nota: Os CILs foram organizados em ordem decrescente de economia proporcionada pela sua utilização.

**Figura 16:** Relação entre o custo e a economia associados à utilização dos CILs

Ressalta-se que há economias associadas à utilização dessas estruturas quando se compara com o custo de transporte para atender às demandas diretamente. Além disso, a economia proporcionada pelo CIL da microrregião de Aripuana seria suficiente para viabilizar, financeiramente, a utilização dos CILs de Quirinópolis (de segundo maior custo) e de qualquer outro CIL com custo menor que R\$ 426 milhões. Isso demonstra

que o modelo proposto atende ao objetivo principal do trabalho de propor localizações que promovam redução no custo global de transporte.

Cabe mencionar que os CILs com maior percentual de economia por produto não são, necessariamente, aqueles que registraram o maior montante financeiro economizado. A soja representa 33,6% do montante financeiro não-desembolsado do CIL de Aripuana (R\$ 942.169.856) e 32% de Anápolis (R\$ 9.968.778). Entretanto, Anápolis representa a quarta maior economia financeira global para este produto, ficando atrás de Aripuana, Santa Maria da Vitória (R\$ 32.789.472) e Norte Araguaia (R\$ 24.999.216).

Situação semelhante ocorreu com o milho, onde as maiores reduções percentuais foram em Aripuana (R\$ 260.881.664, ou seja, 28,3%) e Santa Maria da Vitória (R\$ 10.961.904, representando 9,6%), mas as maiores economias financeiras foram em Aripuana, Alto Teles Pires, Anápolis e, só então, em Santa Maria da Vitória.

Em relação ao farelo, as maiores economias percentuais foram registradas: Aripuana e Norte Araguaia apresentaram as maiores reduções percentuais, 16% (R\$ 895.274) e 13,7% (R\$ 9.833.676), respectivamente. Mas, as maiores economias se deram nos CILs de Rononópolis (R\$ 16.624.384) e Cuiabá (R\$ 12.765.376). O CIL de Aripuana tem a nona maior redução financeira, entre os dez CILs indicados para abertura, tendo em vista que Alto Teles Pires não movimenta este produto.

Apenas o açúcar teve o mesmo CIL com o maior montante financeiro e percentual de redução: Ituiutaba (27,9% de economia em relação ao transporte direto, o que representa R\$ 155.750.176) e Santa Maria da Vitória (17% ou R\$ 17.756.816). Esse comportamento não foi observado para os demais CILs que movimentam este produto.

Além disso, cabe analisar a taxa de utilização de determinado CIL, pois em estudos futuros, isso poderia ser relevante na determinação da sua capacidade ótima de instalação. Embora esta aplicação não considere custos de investimento, o dimensionamento adequado das estruturas é relevante tendo em vista que: (1) há restrições orçamentárias governamentais para investimento no setor de transportes; e (2) o montante investido varia de acordo com a capacidade de carga do CIL e, também, com o tipo de carga movimentada.

Assim, o Quadro 23 apresenta as taxas de utilização de cada CIL, total e por produto.

**Quadro 23:** Taxa de utilização dos CILs selecionados

Microrregiões		Produtos				Total
		Soja	Milho	Farelo	Açúcar	
<i>Sta M<sup>a</sup> da Vitória</i>	Volume (t)	2.110.000	749.180	71.210	570.330	3.500.720
	Saturação (t)	2.215.190	956.540	178.320	776.340	4.126.390
	Utilização (%)	95,3%	78,3%	39,9%	73,5%	84,8%
<i>Ituiutaba</i>	Volume (t)	925.300	6.710	6.280	61.710	1.000.000
	Saturação (t)	1.020.390	123.490	90.010	274.740	1.508.630
	Utilização (%)	90,7%	5,4%	7,0%	22,5%	66,3%
<i>Aripuana</i>	Volume (t)	13.024.590	4.020.950	13.940	1.967.020	19.026.500
	Saturação (t)	13.039.650	4.110.360	95.190	2.144.610	19.389.810
	Utilização (%)	99,9%	97,8%	14,6%	91,7%	98,1%
<i>Alto Teles</i>	Volume (t)	464.560	949.540	-	93.800	1.507.900
	Saturação (t)	717.490	1.129.610	86.540	632.870	2.566.510
	Utilização (%)	64,7%	84,1%	0,0%	14,8%	58,8%
<i>Norte Araguaia</i>	Volume (t)	334.040	89.530	131.260	445.170	1.000.000
	Saturação (t)	334.410	330.560	143.170	625.700	1.433.840
	Utilização (%)	99,9%	27,1%	91,7%	71,1%	69,7%
<i>Cuiabá</i>	Volume (t)	140	432.230	2.776.440	27.060	3.235.870
	Saturação (t)	271.420	1.293.730	2.863.250	289.150	4.717.550
	Utilização (%)	0,1%	33,4%	97,0%	9,4%	68,6%
<i>Rondonópolis</i>	Volume (t)	0	657.840	3.790.490	202.350	4.650.680
	Saturação (t)	605.100	2.985.650	6.655.530	543.230	10.789.510
	Utilização (%)	0,0%	22,0%	57,0%	37,2%	43,1%
<i>Alto Araguaia</i>	Volume (t)	53.420	573.180	1.441.810	14.860	2.083.270
	Saturação (t)	178.730	3.226.920	8.090.870	140.780	11.637.300
	Utilização (%)	29,9%	17,8%	17,8%	10,6%	17,9%
<i>Anápolis</i>	Volume (t)	115.560	385.210	211.070	288.160	1.000.000
	Saturação (t)	808.400	439.070	349.350	583.300	2.180.120
	Utilização (%)	14,3%	87,7%	60,4%	49,4%	45,9%
<i>Quirinópolis</i>	Volume (t)	1.949.660	1.819.960	931.520	458.320	5.159.460
	Saturação (t)	2.090.100	3.176.370	7.618.560	885.590	13.770.620
	Utilização (%)	93,3%	57,3%	12,2%	51,8%	37,5%

Elucida-se que o item “saturação” se refere quantidade de carga total com potencial de utilização deste CIL, ou seja, cujo custo de transporte por intermédio deste CIL é menor do que o custo do transporte direto. Por exemplo, no caso do transporte de soja para a região de Santa Maria da Vitória, a quantidade máxima que poderia ser transportada pelo CIL seria de 2.215.190 t (tendo em vista a relação entre custo do transporte por intermédio do CIL e custo do transporte direto).

Ressalta-se, portanto, que determinado produto de uma origem para um destino específico poderiam ter dois CILs potenciais, sendo que o modelo determinará qual deles será usado com base na minimização do custo global de transportes. Por isso, os CILs de cada microrregião podem apresentar uma taxa de utilização menor do que a de saturação.

Assim, pela análise do Quadro 23, nota-se que o CIL de maior utilização é o de Aripuana (98,1%), seguido por Santa Maria da Vitória (84,8%), Norte Araguaia (69,7%), Cuiabá (68,6%) e Ituiutaba (66,3%). A taxa de utilização dos demais varia de 17,9% em Araguaia a 58,8% em Alto Teles. Ressalta-se que os CILs de Aripuana e de Santa Maria da Vitória, além de terem a melhor relação entre volume movimentado e saturação, proporcionam as maiores economias globais.

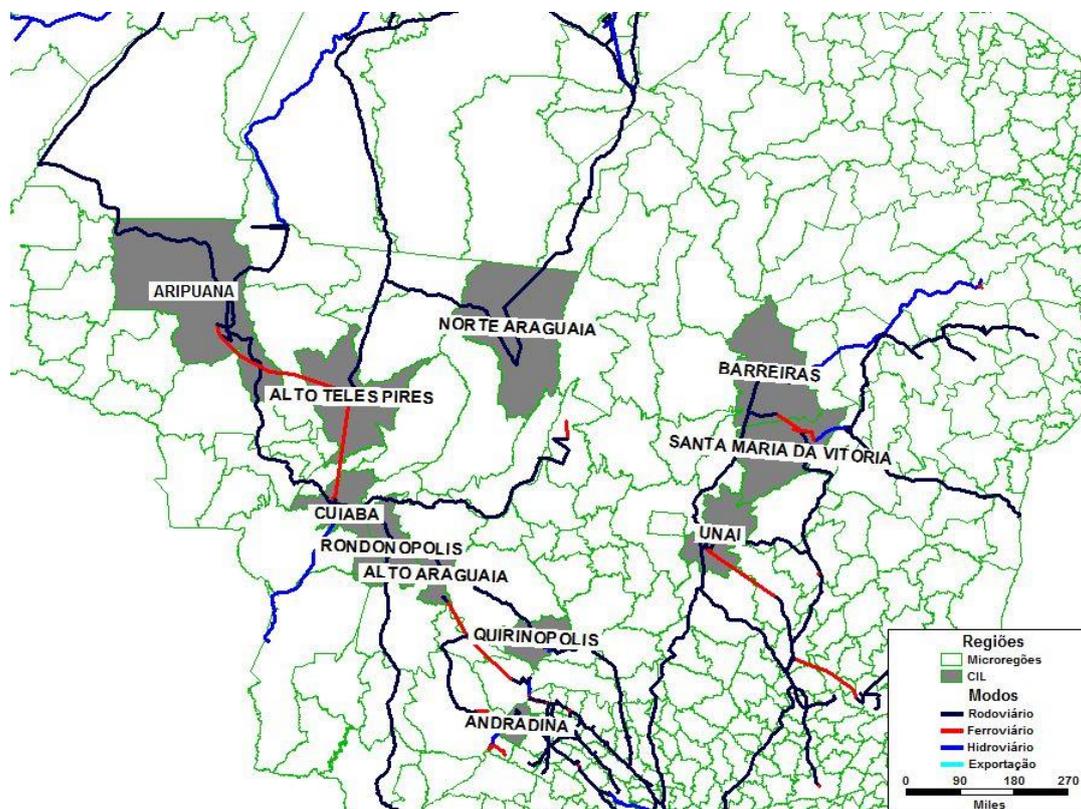
Assim, percebe-se que o modelo matemático desenvolvido nesta dissertação permite não apenas indicar as regiões de abertura dos CILs (localização) e a quantidade de cada tipo de produto que será atendido por cada estrutura (alocação), como também permite verificar a quantidade ótima de produto a ser atendida por cada CIL. Isto é fundamental para o planejamento estratégico de transportes uma vez que permite determinar com certo grau de acuracidade (desconsideradas as variações mercadológicas possíveis e sob as quais os gestores não têm poder de influência) a capacidade adequada de um CIL para o atendimento de cada tipo de produto. Permitindo, assim, que se façam definições relacionadas ao seu funcionamento e investimento, tais como: quantidade e tipos de equipamentos necessários, *layouts*, tipos de estruturas de armazenagem e respectivas capacidades, entre outros. Além disso, auxilia na determinação dos critérios necessários para o desenvolvimento do plano de negócios da estrutura e dos estudos de viabilidade técnica, financeira, econômica e ambientais – EVTEAs.

Dessa forma, apresentados os principais resultados obtidos pela aplicação do modelo proposto, na Seção 6.3 é feita uma comparação entre os aspectos mais relevantes deste resultado e daquele obtido pela aplicação do modelo de COSTA (2014).

### **6.3 Comparação com os resultados de COSTA (2014)**

Apresentados os resultados obtidos com o modelo, fez-se necessário compará-los com os valores obtidos pela aplicação do modelo de COSTA (2014) a fim de verificar o impacto proporcionado pela inserção das demandas par-a-par no que diz

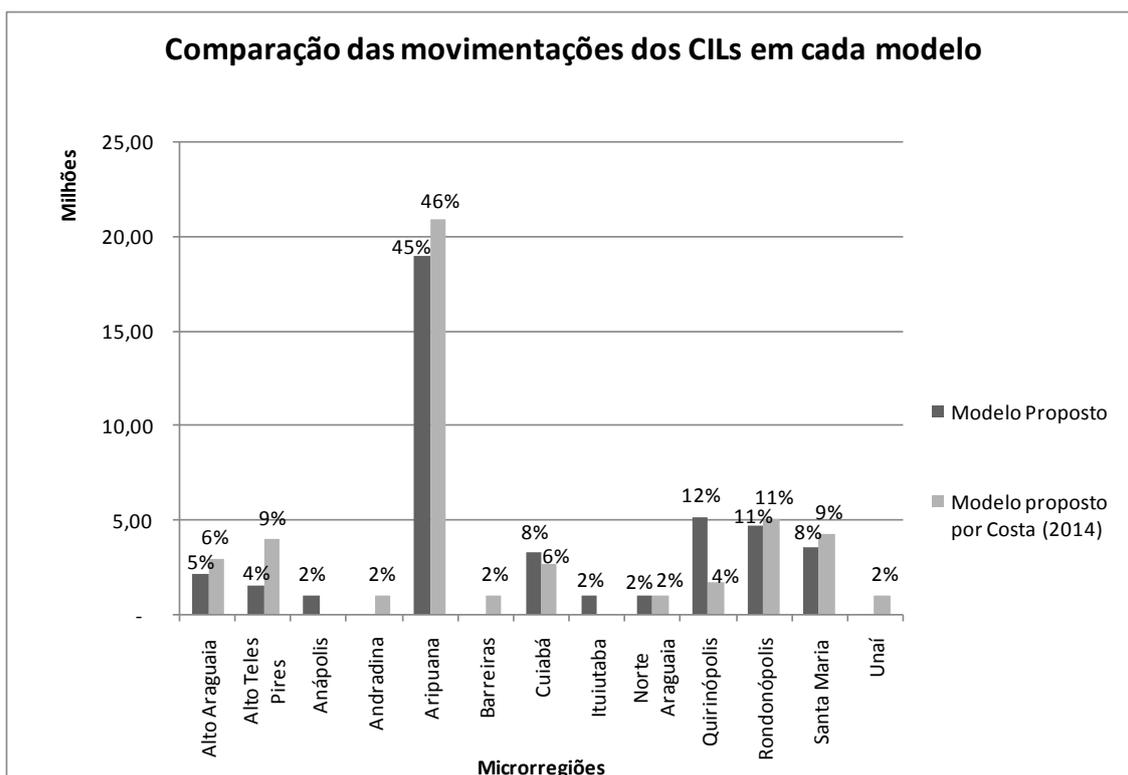
respeito à quantidade de CILs aberto, à movimentação e aos custos. A Figura 17 apresenta a localização dos CILs abertos pelo modelo de COSTA (2014), a qual pode ser comparada com a Figura 13, que apresenta a localização das microrregiões indicadas pelo modelo desenvolvido nesta dissertação.



**Figura 17:** Regiões indicadas para abertura de CILs pelo modelo de COSTA (2014)

Nota-se que oito regiões foram indicadas para abertura em ambos os modelos. Barreiras, Unai e Andradina foram indicados apenas pelo modelo de COSTA (2014) enquanto Ituiutaba e Anápolis foram indicados pelo modelo proposto nesta dissertação. Destaca-se que todos estes CILs não-coincidentes tiveram a quantidade movimentada exatamente igual à quantidade mínima de abertura (1.000.000 t). Dentre os CILs indicados para abertura em regiões coincidentes, apenas o do Norte Araguaia movimentou exatamente a quantidade mínima requerida para abertura em ambos os casos.

Sobre os demais CILs, com exceção de Cuiabá e Quirinópolis, as estruturas indicadas pelo modelo de COSTA (2014) movimentam uma maior quantidade do que as indicadas pelo presente modelo. A comparação entre as movimentações por CIL em ambos os modelos estão apresentadas na Figura 18.



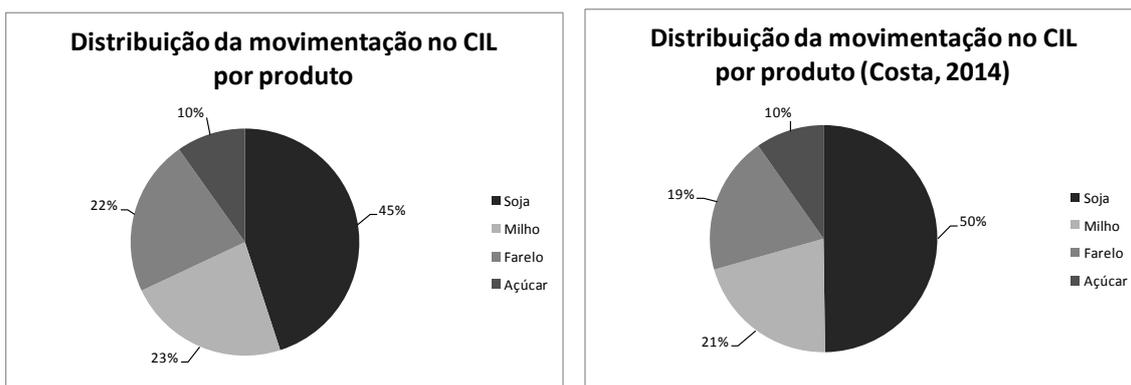
**Nota:** Os valores percentuais devem ser interpretados por modelo (e não pela quantidade), ou seja, 11% no modelo proposto se referem a uma quantidade de toneladas movimentadas diferente de 11% no modelo de COSTA (2014).

**Figura 18:** Comparação das movimentações totais em cada CIL aberto pelos modelos

Os 11 CILs indicados pelo modelo proposto por COSTA (2014) movimentam, no total, 7% a mais de carga do que os 10 CILs indicados pelo modelo desta dissertação. Nota-se que, em ambos os modelos, o CIL que concentra a maior quantidade movimentada é o de Aripuana, com 20.953.620 t no modelo de COSTA (2014) e 19.026.500 t no modelo proposto, sendo que a soja é o produto mais significativo neste CIL (68,1% e 68,5% da movimentação, respectivamente) seguido pelo farelo (23,5% e 21,1%), açúcar (8,1% e 10,3%) e milho (0,2% e 0,1%).

Na sequência, tem-se os CILs de Rondonópolis, Santa Maria da Vitória e Alto Teles Pires para COSTA (2014) e Quirinópolis, Rondonópolis e Cuiabá para o modelo proposto. Juntos, estes CILs de maior movimentação representam 75% da movimentação total dos CILs indicados pelo modelo de COSTA (2014) e 76% do total do modelo proposto. Salienta-se, contudo, que apenas Rondonópolis para COSTA (2014) e Quirinópolis para esta dissertação movimentam mais de 5 milhões de toneladas.

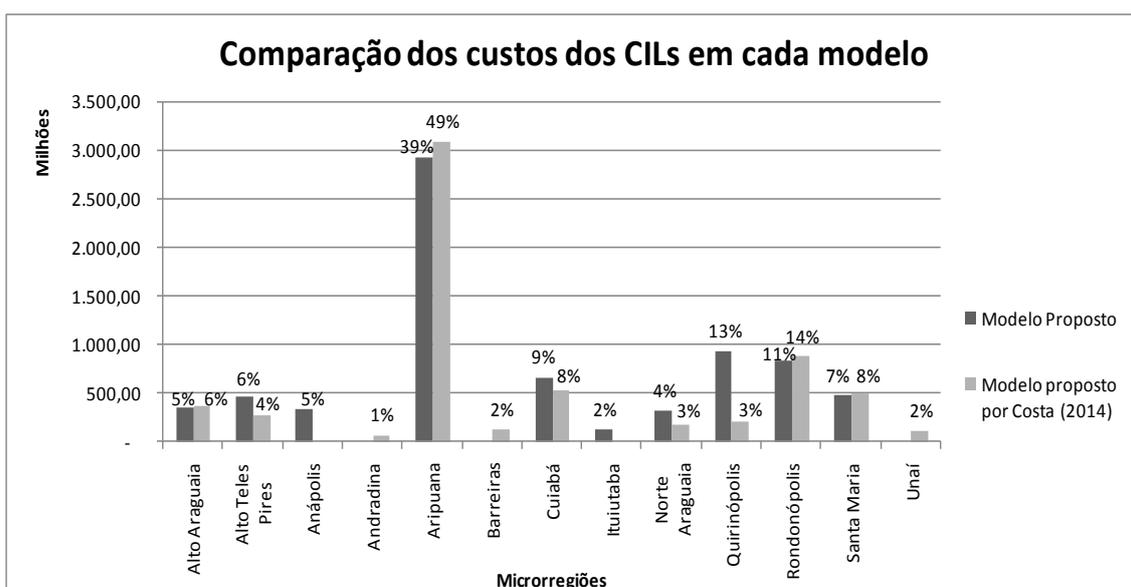
Sobre a participação de cada produto na movimentação total, tem-se a Figura 19.



**Figura 19:** Comparação da distribuição de produtos movimentados por meio de CILs nos dois modelos

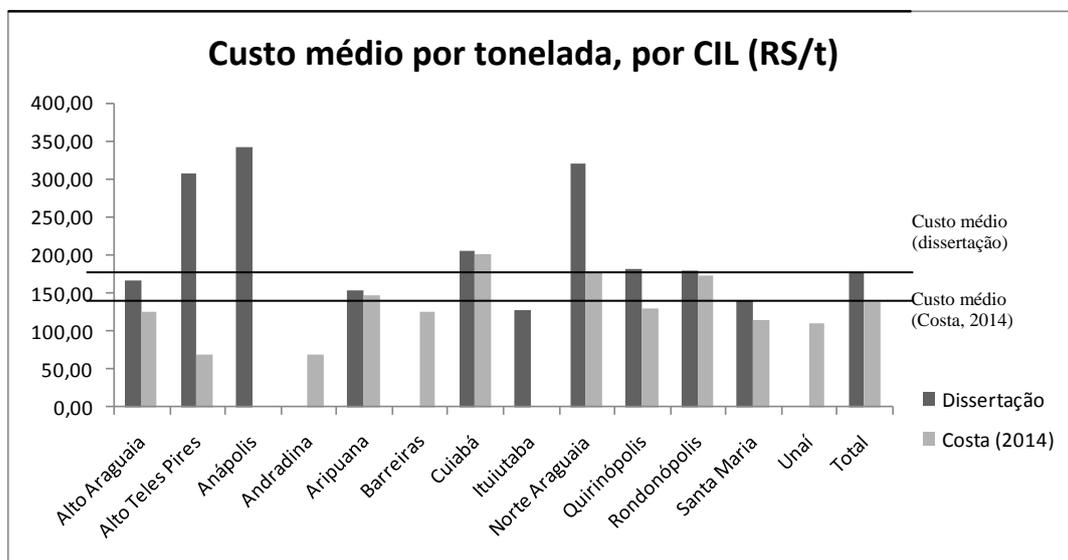
Nota-se que a relevância dos produtos movimentados é semelhante em cada um dos modelos: a soja tem a maior representatividade, sendo responsável por 50% das movimentações de COSTA (2014) e o milho tem a menor tonelage movimentada (10% em ambos os modelos). Destaca-se, contudo, que no modelo de COSTA (2014), os CILs de Cuiabá, Rondonópolis, Alto Araguaia e Quirinópolis não movimentam soja.

Sobre os custos registrados em cada CIL, a Figura 20 compara a proporção de cada um dos modelos. Verifica-se que a distribuição de custos por CIL é semelhante em ambos os modelos, com exceção de Quirinópolis em que o custo é 10 pontos percentuais maior pelo modelo proposto nesta dissertação, o que pode ser explicado pelo seu volume de movimentação 8 pontos percentuais maior (Figura 20).



**Figura 20:** Comparação entre os custos totais registrados em cada CIL, por modelo

De maneira geral, os custos totais por CIL estão coerentes com o volume movimentado, ou seja, aqueles CILs com maior tonelagem movimentada são aqueles que registram maiores custos. Contudo, o mesmo não acontece quando é feita a análise do custo médio por tonelada movimentada, conforme pode ser analisado na Figura 21.



**Figura 21:** Comparação entre o custo médio por tonelada movimentada em cada CIL por ambos os modelos

Esse comportamento pode ser explicado pelos custos de transportes associados à distância entre os pares de origem-destino atendidos por cada CIL (o que é ainda mais determinante no modelo desta dissertação tendo em vista que os pares de origem-destino precisam ser respeitados) e ao tipo de produto predominante (nota-se que os CILs que não movimentam soja pelo modelo de COSTA (2014) têm custos médios por tonelada maiores, o que pode ser explicado pelas maiores tarifas do transporte ferroviário estarem associadas aos outros três produtos).

O custo médio por tonelada movimentada pelo modelo proposto é 27% maior do que do modelo de COSTA (2014) – equivalente a R\$ 37,72 por tonelada. Este resultado era esperado tendo em vista que o modelo desta dissertação respeita as demandas par-a-par, o que torna o espaço de solução mais restrito, deixando de auferir ganhos econômicos relacionados à proximidade geográfica dos clientes, dos produtores e dos CIL.

Em outras palavras, o modelo de COSTA (2014) permite que qualquer demanda seja atendida por qualquer zona produtora, fazendo com que o modelo possa alocar carga em zonas mais próximas do CIL (desde que elas tenham o mesmo CIL como

intermediário), reduzindo assim, o custo de transporte. No modelo proposto, isto não é possível tendo em vista que cada cliente pode ser atendido apenas pelas zonas das quais ele demanda carga, independente do quão distante eles (e as zonas produtoras) estejam do CIL.

Assim, nota-se que com exceção do Cuiabá e Norte Araguaia - que registram custos médios de R\$ 200,45 e R\$ 177,45, respectivamente - todos os CILs abertos por COSTA (2014) têm um custo médio de transporte por meio do CIL menor que o custo médio total registrado pelo modelo proposto (que é de R\$ 176,60). De forma análoga, destaca-se que o CIL de Ituiutaba tem um custo médio de utilização menor que o custo médio total registrado por COSTA (R\$ 126,66 contra R\$ 138,88). Além disso, o custo de Santa Maria no modelo proposto é apenas R\$ 0,71 maior que o custo médio de COSTA (2014).

Salienta-se também que o CIL de maior movimentação em ambos os modelos – Aripuana – registrou um custo médio de movimentação de R\$ 153,93 e R\$ 147,09, respectivamente para os modelos proposto e de COSTA (2014). Embora, ambos os custos tenham ficado acima da média total registrada pela autora, eles ficaram abaixo da média total do modelo proposto. Além disso, a diferença entre os custos médios de movimentação é de R\$ 6,84 sugerindo a viabilidade deste CIL tanto pela magnitude das suas movimentações (cerca de 45% de toda movimentação) e pela pequena alteração nos custos considerando um cenário com maiores restrições associados à dinâmica de mercado.

É importante mencionar que o fato de 8 CILs serem indicados para abertura em ambos os modelos sugerem que estes deveriam ser priorizados para abertura tendo em vista que mesmo alterando a dinâmica de mercado (a inserção das demandas par-a-par tornou o modelo matemático mais restrito, representando uma nova condição econômica), eles continuaram sendo indicados para abertura. Ademais, o Quadro 24 compara os principais resultados obtidos pela aplicação de ambos os modelos.

Pela análise do Quadro 24 percebe-se que, embora o modelo proposto nesta dissertação contenha restrições que restringem o espaço de soluções viáveis, possibilitando menos alternativas de conexões de transporte quando comparado com o modelo de COSTA (2014), os custos apresentados ficaram na mesma magnitude, não destoando da realidade praticada no mercado. Por exemplo, segundo dados da SIFRECA o custo médio de transporte de soja transportada pelo modo rodoviário é de aproximadamente R\$ 135/t a cada mil quilômetros (USP, 2015). Tendo em vista as

distâncias percorridas pelos produtos que utilizam o CIL, o custo do transporte diretamente rodoviário ficaria acima da média proporcionada pelo modelo que foi de R\$ 143,81.

**Quadro 24:** Comparação dos principais resultados obtidos pela aplicação do modelo proposto e de COSTA (2014)

<b>Parâmetros de análise</b>	<b>Costa (2014)</b>	<b>Modelo proposto</b>
Nº de CILs abertos	11	10
CIL de maior movimentação	Aripuana	Aripuana
CILs com movimentação mínima	Andradina, Barreiras, Norte Araguaia, Unai	Anápolis, Ituiutaba e Norte Araguaia
Quantidade movimentada (t)	45.503.670	42.164.400
Quantidade máxima por CIL (t)	20.953.620	19.026.500
Quantidade mínima por CIL (t)	1.000.000	1.000.000
Produto mais representativo (t)	Soja (49,8%)	Soja (45%)
Produto mais representativo (custo em R\$)	Soja (44%)	Soja (36,7%)
Custo total (R\$)	22.224.489.741,58	25.187.453.399,47
Custo de transporte pelo CIL (R\$)	6.319.497.506,38	7.446.214.459,68
Custo médio por tonelada movimentada pelo CIL – total (R\$)	138,88	176,60
CIL com menor custo médio por tonelada movimentada	Alto Teles Pires (\$68,89)	Ituiutaba (\$126,66)
CIL com maior custo médio por tonelada movimentada	Cuiabá (\$200,45)	Anápolis (\$340,58)
Custo médio por tonelada de soja movimentada pelo CIL (R\$)	123,83	143,81
Custo médio por tonelada de milho movimentada pelo CIL (R\$)	137,44	202,57
Custo médio por tonelada de farelo movimentada pelo CIL (R\$)	165,94	182,92
Custo médio por tonelada de açúcar movimentada pelo CIL	164,23	252,02

Cabe ressaltar, entretanto, que na prática este custo poderia ser um pouco maior em função dos custos associados à movimentação do CIL (considerados fixos) e de transbordo após CIL, que não foram considerados. Mas, nota-se que os valores apontados pelo modelo não destoam tanto daqueles praticados pelo mercado: soja e açúcar registraram custos de aproximadamente R\$ 135/t a cada mil quilômetros e o milho registrou R\$ 100/t a cada mil quilômetros para o transporte rodoviário no mês de fevereiro de 2015 (USP, 2015).

Dessa maneira, nota-se que o modelo desenvolvido atendeu aos objetivos, tendo em vista que proporcionou a minimização do custo logístico, apresentando resultados aderentes à realidade de mercado e que não destoaram dos resultados proporcionados por COSTA (2014).

Salienta-se, entretanto, que tanto os resultados apresentados nas Seções 6.2 e 6.3 podem sofrer alterações substanciais em função da base de dados utilizada e das premissas adotadas. Dessa forma, os resultados obtidos nesta dissertação devem ser considerados como os mais adequados diante da base de dados indicada como “entrada” para cada um dos modelos analisados. Contudo, o refinamento e a atualização dos dados e/ou a alteração de algum dos parâmetros podem conduzir a resultados mais acurados (e, ainda, completamente diferentes) no que concerne às indicações de locais potenciais para instalação de CILs, alocação de cargas em cada estrutura e de seus respectivos custos/economias.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A discussão teórica demonstrou que embora os planos e programas governamentais estejam caminhando na direção de um planejamento mais sistêmico do setor, ainda há muito por se fazer para se alcançar os objetivos de intermodalidade e reequilíbrio da matriz de transportes brasileira.

Neste contexto as estruturas de integração logística aparecem como uma alternativa para a promoção desta intermodalidade, ressaltando, entretanto, a necessidade que estas sejam eficientes para não causar mais transtornos do que benesses. Contudo, nota-se que não há nenhuma estrutura do tipo plataforma logística em funcionamento no país, embora alguns planos recentes do setor evidenciem sua necessidade. Cabe ressaltar que estudos estão sendo feitos para a implantação/expansão de ZALs, aeroportos de carga e plataformas logísticas, no país.

Dessa forma, o presente estudo contribui no sentido de apoiar o processo de tomada de decisão dos responsáveis pelo planejamento do setor tendo em vista que permite apontar regiões viáveis para localização destes CILs. Localização a qual, como demonstrado na revisão de literatura, é uma decisão estratégica em função do montante de recursos empregados e da dificuldade de reverter este investimento (em termos financeiros, temporais e até mesmo de imagem perante aos clientes), caso seja necessário alterar sua localização. Salienta-se, entretanto, a necessidade da utilização de dados acurados para que os resultados sejam os mais fidedignos possíveis e conduzam a decisões adequadas sobre a localização e alocação dos fluxos de produtos.

Assim, o objetivo principal deste estudo foi atingido uma vez que a modelagem matemática de localização-alocação proposta permitiu indicar uma quantidade de CILs a serem abertos e suas respectivas regiões, além das quantidades e dos tipos de produtos

a serem movimentados em cada uma das suas estruturas de forma a minimizar o custo total. Ressalta-se que o modelo contém restrições que garantem que as demandas e ofertas entre as diferentes zonas de produção e consumo serão atendidas individualmente, garantindo o respeito aos fluxos par-a-par.

A consideração das demandas par-a-par é importante tendo em vista os contratos firmados entre produtores e consumidores, além de relações de confiança preestabelecidas. Dessa forma, a presente dissertação contribui para o modelo desenvolvido por COSTA (2014), trazendo esta novidade aderente à lógica econômica das relações de mercado.

Além disso, o modelo permite também determinar com maior acuracidade a capacidade ótima de cada CIL pela indicação da quantidade de produto e do nível de saturação de cada estrutura. Isso facilita no processo de tomada de decisão, direcionando a elaboração dos planos de negócios e EVTEAs.

Assim, pela aplicação do modelo proposto, foram indicados 10 CILs viáveis para abertura, dos quais 8 estão na região Centro-Oeste o que pode ser explicado pela concentração da produção das mercadorias selecionadas. Além disso, apenas três foram abertos com a quantidade mínima de movimentação – 1.000.000 de toneladas. Ressalta-se que o CIL de Aripuana representa 45,1% da movimentação total por CILs, com destaque para soja e milho. A economia proporcionada pela abertura deste CIL é de 85,1% da economia gerada por todos os CILs, o que pode indicar que ele deveria ser privilegiado em um cenário de restrição de recursos. Entretanto, cabe uma análise aprofundada deste cenário por meio da aplicação da restrição (35), indicada quando há restrição orçamentária para instalação destas estruturas.

Em uma análise global, o custo total de transporte/logística é de R\$ 25.187.453.399,47, sendo que destes, 29,6% se refere ao custo de transporte pelo CIL e o restante pelo transporte direto (totalmente rodoviário). A utilização do CIL proporciona uma economia de R\$ 1.613.157.810 em relação ao transporte totalmente direto (valor equivalente a 22% dos custos de movimentação pelos CILs e 6% do total).

Comparando-se com os resultados de COSTA (2014), nota-se que 8 CILs são coincidentes o que pode indicar que esses CILs deveriam ser privilegiados em um cenário de restrição orçamentária tendo em vista que mesmo com restrições relacionadas ao fluxo entre pares de origem-destino (para refletir a realidade econômica) eles continuaram sendo indicados para abertura. Contudo, seria necessário refazer a análise considerando a restrição (35) para corroborar essa afirmação.

Em ambos os modelos o produto com maior representatividade no transporte por CILs é a soja - embora ela não seja transportada em todos os CILs indicados para abertura – e o CIL de maior representatividade é o de Aripuana. Sobre os custos, o modelo proposto registra um custo total 7,9% maior que o de COSTA (2014), ou seja, R\$ 3.339.270. Além disso, o custo de utilização do CIL é 17,8% maior equivalente a R\$ 1.126.716.953,29, mesmo registrando um volume movimentado por CIL 7,3% menor. Isso impacta diretamente no custo médio por tonelada movimentada que é R\$ 37,72 (27%) mais caro que no modelo de COSTA (2014).

Cabe reforçar, contudo, que este resultado era esperado tendo em vista as restrições que garante que as demandas serão atendidas par-a-par, para refletir a dinâmica de mercado. Isso acaba por tornar o espaço de solução mais restrito, limitando ganhos econômicos que poderiam estar relacionados à proximidade geográfica dos clientes, dos produtores e dos CIL.

O modelo de COSTA (2014) permite que a demanda seja atendida por qualquer zona produtora, tendo como único critério que toda a demanda seja satisfeita, que não se excedam as capacidades de produção e consumo e que não haja formação de estoque. Isso faz com que o modelo matemático possa alocar cargas que tenham o mesmo CILs como intermediário em zonas de consumo mais próximas desta estrutura (desconsiderando as matrizes O/D, relação par-a-par), reduzindo assim, o custo de transporte.

No modelo proposto, isto não é possível tendo em vista que cada cliente pode ser atendido apenas pelas zonas das quais ele demanda carga, independente do quão distante eles (e as zonas produtoras) estejam do CIL. Entretanto, ainda assim, o modelo proposto nesta dissertação encontrou uma solução viável que proporcionasse a minimização dos custos logísticos, em comparação com o transporte diretamente rodoviário.

Reforça-se que os resultados aqui encontrados podem ser considerados os mais adequados para a base de dados utilizada. Dessa maneira, o refinamento e/ou a alteração nos dados de entrada do modelo podem alterar sensivelmente o resultado. Isso não invalida, contudo, sua utilização como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

Como limitações deste trabalho, apontam-se: o uso de dados secundários e estimados; o fato de terem sido considerados apenas quatro produtos da matriz de cargas brasileira; não terem sido incorporadas na base georreferenciada as obras indicadas pelos programas e planos governamentais recentes, como o PIL ferroviário; e,

não serem considerados os custos de transbordo nas conexões intermodais que prevêm transferência modal após o CIL nem os custos de investimento.

Como sugestões têm-se: uma análise considerando produtos de outros grupos do PNLT; restrição de recursos para investimento; custos diferenciados por tipo de produto; os custos de transbordo após o CIL; novos investimentos em infraestrutura previstos nos planos e programas recentes; a opção de cabotagem e dutoviário (para os produtos em que isso seja possível, tais como combustíveis e derivados); possibilidade de transporte intermodal das zonas de produção para os CILs; uso das capacidades das malhas ferroviárias e aquaviárias como limitantes superiores de abertura do CIL, tendo em vista que CILs de uma mesma região podem concorrer pela utilização de uma mesma malha de transporte, a qual tem capacidade limitada; definição do limite inferior de utilização do CIL com base na viabilidade econômica do agente que irá operar a estrutura. Além disso, pode-se fazer necessária a atualização nos dados sobre os custos e, possivelmente, ajustes nas matrizes de O/D.

Quanto ao modelo especificamente, sugere-se considerar: o fator tempo na análise (quando abrir o CIL e restrições de tempo de entrega); a capacidade dos veículos e das vias; dois tipos de frete ferroviário e rodoviário (LTL e FTL), bem como a possibilidade de frete de retorno; a agregação de valor nas mercadorias que utilizam os CILs; e, os aspectos ambientais (ou duplo objetivo ou critérios ambientais para a seleção dos CILs), tais como minimização do consumo de energia ou da emissão de poluentes atmosféricos e/ou gases de efeito estufa.

Ademais, o nível de saturação de determinado CIL poderia ser estabelecido como necessariamente igual a 100%, ou seja, não permitindo que a carga seja enviada para uma estrutura diferente daquela menor custo para viabilizar a abertura de CILs que, de outra maneira, não alcançariam a quantidade mínima para abertura.

Além disso, pode-se inserir uma terceira opção de pré-processamento, considerando que determinado candidato a CIL somente será mantido na base de dados, caso o volume de carga para o qual ele é o mais atraente que o transporte direto superar a capacidade mínima estabelecida. Por fim, ressalta-se que as restrições (35) - limitação de investimentos - e (36) - *p*-medianas - podem ser usadas para auxiliar na tomada de decisão e em análise mais robustas sobre as localizações indicadas para abertura.

## 8 REFERÊNCIAS

- ABIMAQ – Associação Brasileira de Indústria de Máquinas e Equipamentos, 2013, *Custo Brasil 2002-2012*. Disponível em: <[http://www.abimaq.org.br/Arquivos/Html/DEEE/130715%20-%20Custo%20Brasil%20\(III\).pdf](http://www.abimaq.org.br/Arquivos/Html/DEEE/130715%20-%20Custo%20Brasil%20(III).pdf)>. Acesso em: 15/08/2014.
- AHARANA – Administração da Hidrovia do Paraná, 2010, *Indicadores de desempenho da Hidrovia do Paraná*. Disponível em: <<http://www.ahrana.gov.br/indicadores.html>>. Acesso em: 10/dez/2014
- AKIMOTO, K., SANO, F., HOMMA, T. *et al.*, 2013, “Assessment of the emission reduction target of halving CO2 emissions by 2050: Macro-factors analysis and model analysis under newly developed socio-economic scenarios”, *Energy Strategy Reviews*, v.?, pp. 1-11.
- ALMUR, S., KARA, B.Y., 2008, “Network hub location problems: The state of the art”, *European Journal of Operational Research*, v. 190, pp. 1–21.
- ALMUR, S. A., KARA, B. Y., KARASAN, O. E., 2012a, “Multimodal hub location and hub network design”, *Omega*, v.40, pp. 927–939.
- ALUMUR, S.A., YAMAN, H., KARA, B.Y., 2012b, “Hierarchical multimodal hub location problem with time-definite deliveries”. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v.48, n.6, pp.1107–1120.
- AMARAL, M., ALMEIDA, M. S., MORABITO, R., 2012, “Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação”. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 19, n. 4. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-530X2012000400005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2012000400005)>. Acesso: 15/jan/2015.
- ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil, 2014, *Histórico*. Disponível em: <[www2.anac.gov.br/anac/historicoAnac.asp](http://www2.anac.gov.br/anac/historicoAnac.asp)>. Acesso em: 28/out/2014.
- ANTAQ – Agência Nacional de Transporte Aquaviário, 2009, *Subsídios técnicos para identificação de áreas destinadas à instalação de portos organizados ou autorização de terminais de uso privativo em apoio ao plano geral de outorgas*. In: Relatório final - ANTAQ, CENTRAN e Exército Brasileiro.
- ANTAQ, 2013, *Plano Nacional de Integração Hidroviária – PNIH: Relatório de Metodologia. Desenvolvimento de Estudos e Análises das Hidrovias Brasileiras e suas Instalações Portuárias com Implantação de Base de Dados Georreferenciada e Sistema de Informações Geográficas*. Brasília/DF.

- ANTC – Associação Nacional do Transporte de Carga, 2001, *Manual do cálculo de custo e formação de preço do transporte rodoviário de carga*. In: Relatório do Departamento de Custos Operacionais DECOPE da ANTC, São Paulo.
- ARNOLD, P., PEETERS, D., THOMAS, I. *et al.*, 2001, “For an optimum location of the intermodal centers of transshipment: Formulation and extensions”, *The Canadian Geographer*, v.45, n.3, pp.427–436.
- ARNOLD, P., PEETERS, D., THOMAS, I., 2004, “Modelling a rail/road intermodal transportation system”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 40, n.3, pp.255–270.
- ASHINA, S., FUJINO, J, MASSUI, T *et al.*, 2012, “A roadmap towards a low-carbon society in Japan using backcasting methodology: Feasible pathways for achieving a 80% reduction in CO2 emissions by 2050”, *Energy Policy*, v.41, p.584–598.
- BANDES - Banco do Desenvolvimento do Espírito Santo, 2014, *Fundos e Programas*. Disponível em: <<http://www.bandes.com.br/Site/Dinamico/Show?id=21>>. Acesso em: 09/set/2014
- BAPTISTA, P. C., SILVA, C. M., FARIAS, T. L *et al.*, 2012, “Energy and environmental impacts of alternative pathways for the Portuguese road transportation sector”, *Energy Policy*, v.51, p.802–815.
- BARAT, F., VIDIGAL, A. A. F., GANDRA, M. *et al.*, 2007, *Logística e Transporte no Processo de Globalização: oportunidades para o Brasil*. Jose Baraf (Orgs). São Paulo: Editora UNESP: IEEL. Disponível em: <[http://books.google.com.br/books?id=C6FnwPUXFF4C&pg=PA104&lpg=PA104&dq=transporte%2Bpib&source=bl&ots=01qzY-nrPD&sig=1Q12iHuGhWXhiv22xtRqIf8ndTM&hl=pt-BR&sa=X&ei=P7IZVOrKLIPpggS0poD4AQ&redir\\_esc=y#v=onepage&q=transporte%2Bpib&f=false](http://books.google.com.br/books?id=C6FnwPUXFF4C&pg=PA104&lpg=PA104&dq=transporte%2Bpib&source=bl&ots=01qzY-nrPD&sig=1Q12iHuGhWXhiv22xtRqIf8ndTM&hl=pt-BR&sa=X&ei=P7IZVOrKLIPpggS0poD4AQ&redir_esc=y#v=onepage&q=transporte%2Bpib&f=false)>. Acesso: 17/09/2014.
- BASTANI, P., HEYWOOD, J. B., HOPE, C., 2012, “The effect of uncertainty on US transport-related GHG emissions and fuel consumption out to 2050”, *Transportation Research Part A*, v. 46, pp. 517–548.
- BEHRENDTS, S., FLODÉN, J., 2012. “The effect of transshipment costs on the performance of intermodal line-trains”, *Logistics Research*, v.4, n.3–4, pp.127–136.
- BHATTACHARYA, A., KUMAR, S. A., TIWARI, M. K. *et al.*, 2014, “An intermodal freight transport system for optimal supply chain logistics”, *Transportation*

*Research Part C*, v.38, pp. 73–84.

- BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento, 2011, *Corredor Bioceânico Ferroviário – Estudos Técnicos Referentes ao Eixo de Capricórnio*. In: Pesquisas e Estudos Técnicos Destinados à Avaliação Técnica, Econômico-Financeira e Jurídico-Regulatória de Soluções Destinadas a Viabilizar o Sistema Logístico Ferroviário de Carga entre os Portos no Sul/Sudeste do Brasil e os Portos do Chile, Volume 10 – Tarifas. Brasília/DF.
- BOILE, M., THEOFANIS, S., GILBERT, P., 2009, *Task 5: analyzing Freight Village opportunities. Feasibility of freight villages in the NYMTC region*. Disponível em: <[http://www.nymtc.org/project/freight\\_planning/frtvillage/FrtVillage\\_files](http://www.nymtc.org/project/freight_planning/frtvillage/FrtVillage_files)>. Acesso em: 17/dez/2014.
- BOMFIM, P. R. A., 2014, “Teoria e prática no planejamento regional no IBGE na década de 60”. *Terra Brasilis (Nova Série)*, v.3, pp.1-35.
- BOOZ ALLEN HAMILTON, 2004, *Programa Estadual de Logística de Transportes do Estado da Bahia – PELTBAHIA*. In: Relatório Síntese, FLEM/SEINFRA, Salvador/BA.
- BOUDOUIN, D., 1996, “Logística-Território-Desenvolvimento: O caso europeu”. *I Seminário Internacional: Logística, Transportes e Desenvolvimento*. Ceará: UFC/CT/DET.
- BRASIL, 1973, *Lei no 5.917, de 10 de setembro de 1973*. Aprova o Plano Nacional de Viação e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília: DF.
- BRASIL, 2011, *Lei nº 12.379, de 6 de janeiro de 2011*. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Viação - SNV; altera a Lei no 9.432, de 8 de janeiro de 1997; revoga as Leis nos 5.917, de 10 de setembro de 1973, 6.346, de 6 de julho de 1976, 6.504, de 13 de dezembro de 1977, 6.555, de 22 de agosto de 1978, 6.574, de 30 de setembro de 1978, 6.630, de 16 de abril de 1979, 6.648, de 16 de maio de 1979, 6.671, de 4 de julho de 1979, 6.776, de 30 de abril de 1980, 6.933, de 13 de julho de 1980, 6.976, de 14 de dezembro de 1980, 7.003, de 24 de junho de 1982, 7.436, de 20 de dezembro de 1985, 7.581, de 24 de dezembro de 1986, 9.060, de 14 de junho de 1995, 9.078, de 11 de julho de 1995, 9.830, de 2 de setembro de 1999, 9.852, de 27 de outubro de 1999, 10.030, de 20 de outubro de 2000, 10.031, de 20 de outubro de 2000, 10.540, de 1o de outubro de 2002, 10.606, de 19 de dezembro de 2002, 10.680, de 23 de maio de 2003, 10.739, de 24 de setembro de 2003, 10.789, de 28 de novembro de 2003, 10.960, de 7 de outubro de 2004,

11.003, de 16 de dezembro de 2004, 11.122, de 31 de maio de 2005, 11.475, de 29 de maio de 2007, 11.550, de 19 de novembro de 2007, 11.701, de 18 de junho de 2008, 11.729, de 24 de junho de 2008, e 11.731, de 24 de junho de 2008; revoga dispositivos das Leis nos 6.261, de 14 de novembro de 1975, 6.406, de 21 de março de 1977, 11.297, de 9 de maio de 2006, 11.314, de 3 de julho de 2006, 11.482, de 31 de maio de 2007, 11.518, de 5 de setembro de 2007, e 11.772, de 17 de setembro de 2008; e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília: DF.

BRITO, P., 2012, “Plano Geral de Outorgas do Setor Portuário – PGO: Investimentos portuários e desenvolvimento de hidrovias”. In: *InfraPortos*, ANTAQ, São Paulo.

CALIPER, 2014, *Software* TRANSCAD.

CAMPBELL, J. F., O'KELLY, M. E., 2012, “Twenty-Five Years of Hub Location Research”, *Transportation Science*, v. 46, n.2, pp. 153-169.

CASTRO, D., 2013, *Governo elabora Plano Nacional de Logística Integrada para melhorar o uso de modais de transporte no Brasil*. Rural BR Agricultura. Brasília/DF.

Disponível em:

<<http://agricultura.ruralbr.com.br/noticia/2013/05/governo-elabora-plano-nacional-de-logistica-integrada-para-melhorar-uso-de-modais-de-transporte-no-brasil-4151177.html>>. Acesso: 25/mar/2014.

CASTRO, N., 2003, “Formação de preços no transporte de cargas”. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v.3, n.1, pp. 167-188.

CHOPRA, S., MEINDL, P., 2011, *Gestão da Cadeia de Suprimentos – estratégia, planejamento e operação*. 4a edição, São Paulo: Pearson-Prentice Hall.

CNT e COPPEAD, 2002, “Transporte de Cargas no Brasil: Ameaças e Oportunidades para o Desenvolvimento do País – Diagnóstico e Plano de Ação”. In: *Relatório da Confederação Nacional do Transporte – CNT, Brasília/DF, Centro de Estudos em Logística – CEL do Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração – COPPEAD e Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro/RJ*.

CNT – Confederação Nacional dos Transportes, 2014, *Plano CNT de Transporte e Logística - 2014*. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Paginas/Plano-CNT-de-Log%3%ADstica.aspx> Acesso em: 15/08/2014.

CNT, 2013, *Pesquisa Nacional de Rodovias*. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/relGeral.aspx?origem=2>>. Acesso em: 04/2014.

- COLIN, J., 1996, “Les Evolutions de la Logistique em Europe: vers la Polarisation des Espaces”. In: I Seminário Internacional: Logística, Transportes e Desenvolvimento, Departamento de Engenharia de Transportes – DET, Centro de Tecnologia – CT, Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza/CE, pp.52-92.
- CORREA, V. H. C., RAMOS, P., 2010, “A precariedade do transporte rodoviário brasileiro para o escoamento da produção de soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas”, *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 48, n.2, pp. 447-442.
- COSTA, M. B. B., 2014, *Utilização De Modelo De Localização-Alocação Para Identificação De Zoneamento Logístico Integrado Ao Planejamento Estratégico De Transportes*. Tese Doutorado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil.
- CRAINIC, T. G., LAPORTE, G., 1997, “Planning models for freight transportation”, *European Journal of Operational Research*, v. 97, pp. 409-438.
- DASKIN, S. M., SNYDER, L. V., BERGER, R. T., 2003, *Facility Location in Supply Chain Design*. In: Department of Industrial Engineering and Management Sciences Northwestern University, Evanston, Illinois, U.S.A. Working Paper No. 03-010. Disponível em: <http://www.lehigh.edu/~lvs2/Papers/facil-loc-sc.pdf>. Acesso em: jan/2015.
- DECOMTEC – Departamento de Competitividade e Tecnologia da FIESP, 2012, *Carga Extra na Indústria Brasileira Parte 2 – Custos com Logística*. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/carga-extra-na-industria-brasileira-parte-2-custos-com-logistica/>. Acesso em: 15/08/2014.
- DEPARTAMENTO DE ORGANIZACIÓN DE EMPRESAS, ECONOMÍA FINANCIERA E CONTABILIDAD, 2013, *Facility Location*. Espanha.
- DINIZ, C. C., 2006, *Dinâmica espacial e ordenamento do território. Comissão econômica para a América Latina e o Caribe – CEPAL*. Disponível: <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/4/27834/lcbrsr165cleliocampolina.pdf>. Acesso: 17/09/2014
- DUARTE, P.C., 2004, *Desenvolvimento de um Mapa Estratégico para Apoiar a Implantação de uma Plataforma Logística*. Tese de Doutorado, UFRGS: Porto Alegre/RS.
- DUARTE, P. C., 2009, “Plataforma logística: desenvolvimento de um mapa estratégico para medir os benefícios com sua implantação”, *Revista Gestão Industrial*, v. 5, n.3, pp. 41-54.

- DUBKE, A.F., 2006, *Modelo de Localização de Terminais Especializados: um Estudo de Caso em Corredores de Exportação da Soja*. Tese de Doutorado, Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica – PUC. Rio de Janeiro/RJ.
- EPL - Empresa de Planejamento e Logística, 2014a, *Programa de investimentos em logística*. Brasília. Disponível em: <<http://www.epl.gov.br/index.php>>. Acesso em: mar/2014.
- EPL, 2014b, *EPL apresenta projetos para o biênio 2014/2015*. Disponível em: <<http://www.epl.gov.br/index.php/content/view/5279.html>>. Acesso em: jul/2014
- EUROPLATFORMS – EEIG, 2004, *Logistics Centres: Directions for Use*. Freight Villages Association of Forwarding, United Nations Economic Commission for Europe – UNECE, Geneva, Switzerland.
- FARAHANI, R. Z., HEKMATFAR, M., ARABANI, A. B. *et al.*, 2013, “Hub location problems: A review of models, classification, solution techniques, and applications”, *Computers & Industrial Engineering*, v. 64, pp. 1096–1109.
- FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, 2013, “*Custo Brasil*” e taxa de câmbio na competitividade da indústria de transformação brasileira. Disponível em: <[www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=56679](http://www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=56679)>. Acesso: 16/08/2014.
- FLEURY, P. F., 2003, “Terceirização logística no Brasil”. In: FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. (Eds.) *Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos*. São Paulo: Editora Atlas.
- FLEURY, P. F., 2011, Infraestrutura – sonho ou realidade? In: *8º fórum de economia da Fundação Getúlio Vargas*, São Paulo.
- FLEURY, P. F., WANKE, P., 2006, *Transporte de cargas no Brasil: estudo exploratório das principais variáveis relacionadas aos diferentes modais e às suas estruturas de custos*. In: *Estrutura e Dinâmica do Setor de Serviços no Brasil*. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/capitulo\\_12\\_transportes.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/capitulo_12_transportes.pdf)>. Acesso: 16/08/2014.
- GALLONI, G., 2006, *Best Practices in Europe: the example of freight villages*. Europlatforms. Thessaloniki, Greece.
- GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA, 2004, *Caminhos da Bahia: Infraestrutura e logística*. In: Relatório de atividades, Bahia.

- GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2008, *Plano Estratégico de Logística de Transportes – PELT Minas*. In: Relatório da Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas – SETOP, Minas Gerais.
- GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2013, *Plano Estadual de Logística e Transporte de Santa Catarina*. In: Relatório, Santa Catarina.
- GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2012, *Departamento Estadual de Rodovias Programa Viário de Integração e Logística – Ceará IV*. Ceará.
- GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, 2009, *Plano Estratégico de Logística e de Transportes do Espírito Santo*. In: Relatório da Secretaria do Estado dos Transportes e Obras Públicas, Espírito Santo.
- GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ, 2010, *Plano estadual de logística e transportes*. In: Relatório Secretaria de Estado de Transportes, Pará.
- GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ, 2010, *PELT 2020: Plano Estadual de Logística e Transportes do Paraná*. Eng. Civil Mario C. Stamm Jr, D.Sc. - coordenador geral. Paraná, Editora Publique.
- GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2013, *Plano Estadual de Logística de Cargas – PELC/RJ 2040*. In: Análise da Rede Logística de Cargas no Estado do Rio de Janeiro, e sua área de influência, com propostas hierarquizadas de ações e projetos. Minuta Termo de Referência.
- GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2006, *Rumos 2015: estudo sobre desenvolvimento regional e logística de transportes no Rio Grande do Sul*. In: Relatório da Secretaria da Coordenação e Planejamento. Departamento de Estudos Econômicos e Sociais e Planejamento Estratégico/ SCP-DEPLAN. Porto Alegre.
- GROOTHEDDE, B., RUIJGROK, C., TAVASSZY, L., 2005, “Towards collaborative, intermodal hub networks: A case study in the fast moving consumer goods market”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v.41, n.6, pp.567–583.
- GUIMARÃES, V. A., CAMARA, M. V. O., RIBEIRO, G. M *et al.*, 2014, “Planejamento estratégico do transporte: implantação de estruturas de integração logística no Brasil”. *XXVIII ANPET*, Curitiba.
- GUIMARÃES, V. A.; D’AGOSTO, M. A., LEAL JUNIOR, I C. *et al.*, 2013, “Análise da evolução da eficiência energética no setor de transporte brasileiro”. *XXVII ANPET*, Belém (Prêmio CNT 2013).

- HAIMES, Y., LASDON, L., WISMER, D., 1971. "On a bicriterion formulation of the problems of integrated system identification and system optimization". *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, v.1, n.3, pp.296–297.
- HAMACHER, H.W., MEYER, T., 2006, *Hub cover and hub center problems*. In: Working paper. Department of Mathematics, University of Kaiserslautern, Gottlieb-Daimler-Strasse, 67663 Kaiserslautern, Germany.
- HIGGINS, C. D., FERGUSON, M. R., 2011, *An exploration of the freight village concept and its applicability to Ontario*. McMaster Institute of Transportation and Logistics.
- IBM, 2014, IBM ILOG CPLEX 12.5.
- INVENTARIANÇA DO GEIPOT, 2014, *A empresa*. Ministério dos Transportes, Brasília. Disponível em: <http://www.geipot.gov.br/>. Acesso em: 28/out/2014.
- ISHFAQ, R., SOX, R. C., 2010, "Intermodal logistics: the interplay of financial, operational and service issues". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v.46, n.6, p.p.926–949.
- ISHFAQ, R., SOX, R. C., 2011, "Hub location–allocation in intermodal logistic networks", *European Journal of Operational Research*, v. 210, p.p. 213–230.
- KAHN RIBEIRO, S., S., KOBAYASHI, M., BEUTHE, J. G. *et al.*, 2007, *Transport and its infrastructure*. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- KIM, N.S., VAN WEE, B., 2011, "The relative importance of factors that influence the break-even distance of intermodal freight transport systems". *Journal of Transport Geography*, v.19, n.4, pp.859–875.
- KLOSE, A., DREXL, A., 2005, "Facility location models for distribution system design". *European Journal of Operational Research*, v.162, pp. 4–29.
- KON, A., 1999, "A internacionalização dos serviços". *RAE - Revista de Administração de Empresas*, v.39, n.1, pp.42-54.
- KON, A., 2005, *Sobre a natureza da indústria de serviços: tradable ou nontradable?* In: EITT, PUC, São Paulo.
- LI, L., HOFFEMAN, R., MCINNIS, B. *et al.*, 2012, "Impacts of alternative vehicle fuel policies on Canadian energy demand and emissions". *Transport Policy*, v. 21, pp.

92–100.

- LIMBOURG, S., JOURQUIN, B., 2009, “Optimal rail–road container terminal locations on the European network”. *Transportation Research E*, v.45, n.4, pp.551–563.
- LOPES, S. S., CARDOSO, M. P., PICCININI, M. S., 2008, “O Transporte rodoviário de carga e o papel do BNDES”, *Revista do BNDES*, v.14, n.29, pp. 35-60. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev2902.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev2902.pdf)>. Acesso: 14/08/2014.
- LUNA, M. M. M. L., LUNA, P. T. M., FRIES, C. E. *et al.*, 2011, “Planejamento de logística e Transporte no Brasil: Uma análise dos Planos Nacional e Estaduais”. *XXV ANPET*, Belo Horizonte.
- MACHARIS, C., BONTEKONING, Y. M., 2004, “Opportunities for OR in intermodal freight transport research: A review”, *European Journal of Operational Research*, v.153, pp. 400-416.
- MAPA, S. M. S., LIMA, R. S., 2012, “Uso combinado de sistemas de informações geográficas para transportes e programação linear inteira mista em problemas de localização de instalações”. *Gestão & Produção*, v.19, n.1, pp.119-136. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-530X2012000100009](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2012000100009)>. Acesso em: jan/2015.
- MAPA, S. M. S., 2007, *Localização-Alocação de Instalações com Sistema de Informações Geográficas e Modelagem Matemática*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá/MG.
- MARTINS, R. S., REBECHI, D., PRATI, C. A. *et al.*, 2005, “Decisões estratégicas na logística do agronegócio: compensação de custos transporte-armazenagem para a soja no estado do Paraná”. *Revista de Administração Contemporânea*, v.9, n.1, pp.53-58.
- MEISEL, F., KRISCHSTEIN, T., BIERWIRTH, C., 2013, “Integrated production and intermodal transportation planning in large scale production–distribution–networks”. *Transportation Research Part E*, v. 60, pp. 62–78.
- MENG, Q., WANG, X., 2011, “Intermodal hub-and-spoke network design: incorporating multiple stakeholders and multi-type containers”. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 45, n.4, pp.724–742.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2014, *Cana de Açúcar*. Disponível em:

- <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em: 13/jan/2015.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2014, *Fundos Nacionais e Incentivos Fiscais*. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/web/guest/apresentacao15;jsessionid=E13DEA1486BCD190F47802B250052088.lr2>>. Acesso em: 19/set/2014.
- MINISTÉRIO DE FOMENTO DA ESPANHA, 1999, *Plataformas Logísticas y Centros de Transporte de Mercancías en España: Una Visión de la Situación Actual y Propuesta de Intervencion*. In: Um Resumen de Conclusiones de Três Estúdios para el Ministério, Telecotrans.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT, 2007, *Plano Nacional de Logística e Transportes: Sumário executivo*. Brasília.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT, 2009, *Relatório Executivo PNL*. Brasília.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT, 2012, *Projeto de reavaliação de estimativas e metas do PNL: Relatório Final*. Brasília.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT, 2013a, *Programa de Aceleração do Crescimento: Ações do MT*. Disponível em: <[www.transportes.gov.br/conteudo/38169](http://www.transportes.gov.br/conteudo/38169)>. Acesso: 28/mar/2014.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT, 2013b, *Plano Nacional Estratégico Hidroviário: Sumário Executivo*. Brasília.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT, 2014a, *Transporte no Brasil – Síntese Histórica*. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/conteudo/136-transportes-no-brasil-sintese-historica.html>>. Acesso em: 9/out/2014.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT, 2014b, *9º Balanço do PAC 2*. Brasília.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT, 2014c, *Plano Nacional de Logística e Transportes – Edição 2011: Investimentos por Vetor Logístico e por Modal*. In: Relatório da Secretaria de Política Nacional de Transportes, Brasília. Disponível em: < <http://www.transportes.gov.br/images/2014/11/PNL/vetor.pdf>>. Acesso em 14/nov/2014.
- MME – Ministério de Minas e Energia, 2012, *Estudo associado ao plano decenal de energia – PDE 2011: consolidação de bases de dados do setor de transporte: 1970-2010*. Nota técnica SDB-Abast No 1/2012. Empresa de Pesquisa Energética – Ministério de Minas e Energia – Brasil.
- MORALES, P. R. D., 2007, *Planejamento Urbano: Enfoque Operacional*. Rio de

Janeiro: Fundação Ricardo Franco.

- NIGRIELO, A., 2010, *Planos Nacionais de Viação*. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP. Disponível em: <[http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq\\_urbanismo/disciplinas/aup0270/4do/ssie/aulas/5-nigriello/a5-10-nigr-PNviacao.pdf](http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aup0270/4do/ssie/aulas/5-nigriello/a5-10-nigr-PNviacao.pdf)>. Acesso: 17/jan/2015.
- NTC&LOGÍSTICA, 2013, *Manual de formação de custos e cálculo logístico 2013-2014*.
- OLIVEIRA JUNIOR, M., 2011, *Marco Regulatório Das Políticas De Desenvolvimento Regional No Brasil: Fundos de Desenvolvimento e Fundos Constitucionais de Financiamento*. Núcleo de Estudos e Pesquisas do Senado. Disponível em: <<http://www12.senado.gov.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td-101-marco-regulatorio-das-politicas-de-desenvolvimento-regional-no-brasil-fundos-de-desenvolvimento-e-fundos-constitucionais-de-financiamento>>. Acesso: 17/09/2014
- PADULA, R., 2008, *Transportes - Fundamentos e propostas para o Brasil*. Brasília: Confea. Disponível em: <[http://www.confea.org.br/media/Livro\\_Transportes.pdf](http://www.confea.org.br/media/Livro_Transportes.pdf)>. Acesso: 15/08/2014.
- PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2013, *Mitigação das Mudanças Climática*. In: Contribuição do Grupo de Trabalho III do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas.
- PLAZA, 2014, *Plataforma Logística Zaragoza – Plaza*. Disponível em: <<http://www.plazalogistica.com/pagEstatica.aspx?ID=101>>. Acesso em: 20/jan/2015.
- POSCHET, L., RUMLEY, P.A., DE TILIÈRE, G. *et al.*, 2000, *Plates-Formes Logistiques Multimodales et Multiservices*. In: Direction du PNR 41, Programme National de Recherche: Transport et Environnement, Interactions Suisse-Europe, École Polytechnique Fédérale de Lausanne – EPFL, Lausanne, Suíça.
- QUADROS, S. G. R., NASSI, C. D., 2015, “An evaluation on the criteria to prioritize transportation infrastructure investments in Brazil”. *Transport Policy*, v.40, pp.8-16.
- QUADROS, S. G. R., 2014, *Contribuição Ao Processo De Priorização De Investimentos Em Infraestrutura De Transportes Pelo Uso Do Método De Análise Hierárquica*. Tese Doutorado em Engenharia de Transportes, Universidade

- Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil.
- RACUNICA, I., WYNTER, L., 2005, “Optimal location of intermodal freight hubs”. *Transportation Research Part B: Methodological*, v.39, n.5, pp. 453–477.
- REBELO, J., 2011, *Logística de Carga no Brasil: “Como reduzir Custos Logísticos e Melhorar Eficiência?”*. World Bank, Sustainable Development Department, Latin America and the Caribbean Region. Disponível em: <<http://siteresources.worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/Resources/3817166-1323121030855/JorgeRebelo.pdf?resourceurlname=JorgeRebelo.pdf>>[http://www.onfea.org.br/media/Livro\\_Transportes.pdf](http://www.onfea.org.br/media/Livro_Transportes.pdf)>. Acesso em: 16/08/2014.
- RODRIGUE, J-P., COMTOIS, C., SLACK, B., 2009, *The Geography of Transport Systems*. 2nd Edition, London: Routledge.
- ROSA, D.P., 2004, “Plataforma Logístico-Cooperativa: Integração Horizontal das Cadeias de Abastecimento”. In: *XVIII ANPET*, Florianópolis/SC.
- ROSA, D. P., RATTON NETO, H. X., 2005, “Plataformas logísticas no Brasil: ampliação de funções e de agregação de valor no entorno dos terminais de transporte”. *XIX ANPET*, Recife.
- SEGPLAN, 2013, *Plataforma Logística Multimodal de Goiás: Audiência Pública*. Disponível em: <[http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2013-11/plataforma-logistica-multimodal-de-goias\\_audienciapublica\\_vf.pdf](http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2013-11/plataforma-logistica-multimodal-de-goias_audienciapublica_vf.pdf)>. Acesso em: jul/2014.
- SEINFRA - Secretaria de Estado de Infraestrutura de Goiânia, 2011, *Plano de Desenvolvimento do Sistema de Transportes do Estado de Goiás – PDGT Goiás*. Brasília.
- SEP – Secretaria de Portos, 2012, *Plano Nacional de Logística Portuária – Planos Mestres*. Brasília.
- SIRIKIJPANICHKUL, A., FERREIRA, L., 2005, “Multi-Objective Evaluation of Intermodal Freight Terminal Location Decisions”. In: *Proceedings of the 27th Conference of Australian Institute of Transport Research (CAITR)*, Queensland University of Technology.
- SIRIKIJPANICHKUL, A., VAN DAN, K. H., FERREIRA, L. *et al.*, 2007, “Optimizing the Location of Intermodal Freight Hubs: An Overview of the Agent Based Modelling Approach”. *Journal of transportation systems engineering and information technology*, v. 7, n. 4, pp.71-81.
- SLACK, N., CHAMBERS, S., JOHNNSTON, R., 2009, *Administração da Produção*.

3ª ed. São Paulo: Editora Altas.

SÖRENSEN, K., VANOVERMEIRE, C., BUSSCHAERT, S., 2012, “Efficient metaheuristics to solve the intermodal terminal location problem”. *Computers & Operations Research*, v.39, n.9, pp.2079–2090.

SPRICIGO, R., SILVA, M.P., 2011, *Construindo o Conceito de Plataformas Logísticas – Estado da Arte no Brasil e no Mundo*. Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis/SC.

STEADIESEIFI, M., DELLAERT, N. P., NUIJTEN, W. *et al.*, 2014, “Multimodal freight transportation planning: A literature review”. *European Journal of Operational Research*, v. 233, pp. 1-15.

STEENHOF, P., WOUDSMA, C., SPARLING, E., 2006, “Greenhouse gas emissions and the surface transport of freight in Canada”. *Transportation Research Part D*, v.11, PP. 369–376.

SILVA, R. M., SENNA, E. T. P., SENNA, L. A. S. *et al.*, 2014, “Plataformas Logísticas: Uma análise propositiva da aplicabilidade dos princípios da governança corporativa e pública”. *Espacios*, v. 35, n. 8, pp. 2

SILVA, R. M., SENNA, E. T. P., SENNA, L. A. S. *et al.*, 2013, “Governança em plataformas logísticas: uma análise dos elementos e atributos a serem considerados neste tipo de empreendimento logístico”. *RELIT*, v.7, n.3, pp. 240-269.

Disponível

em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2238-10312013000300011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2238-10312013000300011&lng=en&nrm=iso)>. Acesso: 27/jan/2015.

TOKARSKI, A., 2011, *Plano Nacional de Integração Hidroviária – PNIH*. In: 2º Fórum sobre hidrovias. Brasília

USP – Universidade de São Paulo, 2015, *Sistema de Informações de Fretes – SIFRECA*. Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial – ESALQ-LOG, Departamento de Economia, Administração e Sociologia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba/SP.

Disponível

em:

<

<http://esalqlog.esalq.usp.br/sifreca/#sthash.MBlalaNI.dpuf>>. Acesso em 05/mar/2015.

USP – Universidade de São Paulo, 2012, *Sistema de Informações de Fretes – SIFRECA*. Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial – ESALQ-LOG,

Departamento de Economia, Administração e Sociologia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba/SP.

VYAS, A. D., PATEL, D. M., BERTRAM, K. M., 2013, “Potential for Energy Efficiency Improvement Beyond the Light-Duty-Vehicle Sector”. *Transportation Energy Futures Series*. Prepared for the U.S. Department of Energy by Argonne National Laboratory, Argonne, IL. DOE/GO-102013-3706.

WIEGMANS, B. W., 2010, “The Freight Transport Portfolio: a new way to analyze intermodal freight transport as compared to single-mode road transport”. *Transportation Journal*, p.44-52.

YUNES, B., 2013, *Plano Nacional de Logística Integrada ficará pronto em 2015, diz presidente da EPL*. Disponível em: <<http://agenciat1.com.br/plano-nacional-de-logistica-integrada-ficara-pronto-em-2015-diz-presidente-da-epl/>>. Acesso em: jul/2014.