



UTILIZAÇÃO DE MODELO DE LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO PARA  
IDENTIFICAÇÃO DE ZONEAMENTO LOGÍSTICO INTEGRADO AO  
PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE TRANSPORTES

Maria Beatriz Berti da Costa

Tese de Doutorado 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 Doutor em Engenharia de Transportes.

Orientadores: Carlos David Nassi  
Glaydston Mattos Ribeiro

Rio de Janeiro  
Março de 2014

UTILIZAÇÃO DE MODELO DE LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO PARA  
IDENTIFICAÇÃO DE ZONEAMENTO LOGÍSTICO INTEGRADO AO  
PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE TRANSPORTES

Maria Beatriz Berti da Costa

TESE 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 DOUTOR EM  
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

---

Prof. Carlos David Nassi, Dr. Ing.

---

Prof. Glaydston Mattos Ribeiro, D.Sc.

---

Prof. Márcio de Almeida D'Agosto, D.Sc.

---

Prof. Elton Fernandes, Ph.D.

---

Prof. José Eugênio Leal, Dr. Ing.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2014

Costa, Maria Beatriz Berti da

Utilização de Modelo de Localização-Alocação para Identificação de Zoneamento Logístico Integrado ao Planejamento Estratégico de Transportes / Maria Beatriz Berti da Costa. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

XVI, 208 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Carlos David Nassi

Glaydston Mattos Ribeiro

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 192-208.

1. Modelo de Localização-Alocação. 2. Planejamento de Transportes. 3. Transporte Intermodal. I. Nassi, Carlos David *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

Dedico este trabalho ao meu pai, à minha tia Orieta  
e ao meu irmão Homero, que serviram de  
inspiração e iluminaram meu caminho.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre presente.

Ao Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ, por ter oferecido todo o apoio necessário para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Ing. Carlos David Nassi, pela orientação, paciência e boa vontade, pela liberdade proporcionada às minhas próprias motivações, pela confiança no meu trabalho e na minha pessoa, pela gentileza e principalmente pela amizade.

Ao Prof. D.Sc. Glaydston Mattos Ribeiro, que além de orientador, foi colega e amigo, por todo apoio oferecido desde o início até a fase experimental desta pesquisa, sempre incentivando meu trabalho e vibrando a cada resultado.

A cada um dos professores da Banca Examinadora, Prof. D.Sc. Márcio de Almeida D'Agosto, Prof. Ph.D. Elton Fernandes e Prof. Dr. Ing. José Eugênio Leal, pela dedicação de seu tempo, atenção e competência na avaliação, crítica e pelas contribuições para o aperfeiçoamento desta tese.

À Secretaria de Política Nacional de Transportes – SPNT do Ministério dos Transportes, pela disponibilização dos dados que possibilitaram a experimentação prática desta tese. Agradecendo de forma especial ao Dr. Marcelo Perrupato, pelo incentivo e colaboração.

À minha família, que sempre me apoiou, me deu meios e acreditou em mim. Em especial à minha mãe, ao Otávio, à Adri e às pequenas Alicia e Betina pela alegria que preenche meu coração. Um agradecimento maior a minha tia Orilda, meu tio Taylor, à Luciana e à Jane que me acolheram em seus lares e seus corações quando essa jornada começou, dividindo comigo suas rotinas e me oferecendo todo suporte emocional. Aos meus primos queridos, Adriano, Rodrigo, Mariana, Isabela, Cristina, Caterina e Martina e meu tio Afonso, sempre presentes no meu pensamento e no meu coração.

À minha família de coração, Lisi, Neri, Mary e Lu, em especial às minhas amadas afilhadas Carol e Deca pelo amor incondicional e por compreenderem minha ausência mesmo quando a saudade falava mais alto.

Às minhas outras famílias, de amigos queridos, que me apoiam sempre, que torcem por mim e acreditam muito na minha capacidade de atingir minhas metas. Em

especial à Lia Lang Magnani, pelo carinho e amizade que nasceram junto com o trabalho e permanecerão por toda vida, e ao Marcus Springer, amigo e colega de estudos das disciplinas feitas em Santa Catarina.

Aos amigos e colegas de graduação e mestrado que até hoje fazem parte da minha vida. Aos professores e colegas do LASTRAN e do PPGEF da UFRGS, destacando minhas amigas e também professoras, as Doutoradas Piti, Márcia, Carla, Ângela, Cris e Letícia, pelo incentivo e apoio constantes para que eu tivesse garra para seguir até o final.

Um agradecimento especial ao meu orientador de mestrado Prof. Ph.D. Luis Antonio Lindau, que muito mais do que a orientação acadêmica, sempre foi um grande amigo, e muitas vezes demonstrando um carinho e preocupação de pai, orientando e apoiando minhas decisões profissionais, aconselhando, mostrando alternativas e abrindo caminhos.

Ao Prof. Ph.D. Antônio Galvão Novaes que me recebeu na UFSC, me orientou enquanto fui aluna, e foi o idealizador deste trabalho, que sofreu alterações na forma de execução, mas preservou a essência e a ideia original propostas por ele.

À Confederação Nacional dos Transportes – CNT, pela oportunidade de trabalhar com o setor de transportes. Destacando o Diretor Executivo e amigo Bruno Batista, que sempre me desafiou incentivando que eu estudasse cada vez mais, ampliando minha compreensão do setor e também minha capacidade técnica.

Por fim, meu maior agradecimento ao meu colega de trabalho e doutorado, Saul Germano Rabello Quadros, pelo incentivo desde que cheguei ao Rio de Janeiro, pela confiança técnica que sempre depositou em mim, pela paciência nas horas de desânimo e pelas valorosas trocas de ideias que permitiram que este trabalho tivesse resultados concretos.

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

UTILIZAÇÃO DE MODELO DE LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO PARA  
IDENTIFICAÇÃO DE ZONEAMENTO LOGÍSTICO INTEGRADO AO  
PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE TRANSPORTES

Maria Beatriz Berti da Costa

Março/2014

Orientadores: Carlos David Nassi

Glaydston Mattos Ribeiro

Programa: Engenharia de Transportes

Este trabalho desenvolve estudos e pesquisas visando à proposição de metodologia para identificação do zoneamento logístico integrado ao planejamento estratégico de transporte, pelo uso de modelos matemáticos de localização-alocação integrados a um Sistema de Informações Georeferenciadas – SIG. Um conjunto de estruturas de integração logística, distribuídas em um território, como elementos de um sistema de transporte formam um zoneamento logístico. A definição da localização destas estruturas, nominadas aqui como Centros de Integração Logística – CIL é um dos elementos fundamentais do planejamento de transporte. O uso de modelos matemáticos visa à otimização da definição da localização dos CIL a partir da redução dos custos totais de transporte. Desta forma, a inserção de novos mecanismos técnicos e metodológicos visando determinar a proposição de CIL, promove subsídios às tomadas de decisões sobre investimentos no setor de transportes, permitindo agilizar metas da Política de Transportes, como a ampliação do transporte multimodal e, por consequência, uma melhor distribuição da matriz modal de cargas.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

USE OF LOCATION-ALLOCATION MODEL FOR IDENTIFICATION OF ZONING  
INTEGRATED TO LOGISTICS PLANNING STRATEGIC TRANSPORT

Maria Beatriz Berti da Costa

March/2014

Advisors: Carlos David Nassi

Glaydston Mattos Ribeiro

Department: Transportation Engineering

This paper develops studies and researches in order to propose a methodology to identification of the zoning integrated logistic into strategic planning for transport, by use of mathematical models to location-allocation at a Geographic Information Systems – GIS. A set of structures for logistics integration, distributed in a territory, as elements of a transport system form a zoning logistics. Defining the location of these structures, denominated here as Logistics Integration Centers – CIL is a fundamental element of transportation planning. The use of mathematical models aimed at the optimization of defining the location of CIL from the reduction of the total costs for transport. Thus, the insertion of new technical and methodological mechanisms to determine the proposition CIL promotes subsidies to making decisions about investments in the transportation sector, allowing expedite transport policy goals, such as the expansion of multimodal transport and therefore better distribution of cargo modal matrix.



# SUMÁRIO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XII</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>XV</b>
<b>ÍNDICE DE QUADROS .....</b>	<b>XVI</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVO E ORIGINALIDADE .....	2
1.2. RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA.....	3
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	5
<b>2. ANÁLISE DO CUSTO DE TRANSPORTE NO BRASIL.....</b>	<b>6</b>
2.1. CONCEITOS E DEFINIÇÕES.....	6
2.2. O TRANSPORTE E SUA RELAÇÃO COM OS PRINCIPAIS PRODUTOS DA ECONOMIA NACIONAL .....	15
2.3. A INFRAESTRUTURA VIÁRIA DE TRANSPORTE E SEU IMPACTO NO DESENVOLVIMENTO NACIONAL .....	21
<b>3. PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES E OS CENTROS DE INTEGRAÇÃO LOGÍSTICA.....</b>	<b>25</b>
3.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES.....	25
3.1.1 Planejamento de Transportes .....	25
3.1.2 Centro de Integração Logística – CIL.....	27
3.2 A EVOLUÇÃO DO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE LOGÍSTICA E TRANSPORTES NO BRASIL.....	37
3.3 A IMPORTÂNCIA DO CIL PARA O APRIMORAMENTO DO PLANEJAMENTO LOGÍSTICO E DE TRANSPORTES.....	45
3.3.1. Síntese sobre a questão da localização e da formação dos polos concentradores de carga em rede de infraestrutura.....	46
3.3.2. Uma revisão sobre integração logística e de transporte .....	51
3.3.3. As principais reduções de custos pelo uso do CIL .....	54
<b>4. MODELOS DE LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO APLICADOS NO PLANEJAMENTO DO CIL .....</b>	<b>56</b>
4.1. CONCEITOS E DEFINIÇÕES.....	56
4.2. CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS DE LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO .....	59
4.2.1. Modelos Planar e de Rede .....	60
4.2.2. Modelos Discretos .....	60
4.2.3. Modelos Estáticos e Dinâmicos.....	60
4.2.4. Modelos Determinísticos e Estocásticos .....	60
4.2.5. Modelos com um Único Produto e Modelos Multiprodutos.....	61
4.2.6. Modelos com um Único Objetivo e Modelos Multi-Objetivo .....	61
4.2.7. Modelos Capacitados e Não-Capacitados .....	61
4.3. MODELOS MATEMÁTICOS DE LOCALIZAÇÃO.....	61
4.3.1. Modelos de Cobertura .....	63
4.3.2. Modelo de p-Centro.....	65

4.3.3. Modelo de p-Mediana	67
4.3.4. Modelo de p-Mediana Capacitado	68
4.4. MODELOS MATEMÁTICOS DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES CAPACITADOS MULTIPRODOTO COM TRANSBORDO	69
4.4.1. O problema de localização de facilidades capacitado multiproduto com duas camadas	69
4.4.2. O problema de localização de facilidades capacitado multiproduto multicamada	70
4.5. PROJETO DE REDES LOGÍSTICAS	77
4.6. LOCALIZAÇÃO DE CIL EM REDES MULTIMODAIS	84
4.7 USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA LOCALIZAÇÃO-ALOCÇÃO DE CIL	85
4.7.1. Solução de localização-alocção do software TransCAD	88
<b>5. MODELO MATEMÁTICO PARA LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE INTEGRAÇÃO LOGÍSTICA</b>	<b>91</b>
5.1. REDUÇÃO DOS CUSTOS LOGÍSTICOS E DE TRANSPORTE	92
5.2. CONSIDERAÇÕES E PREMISSAS	94
5.2.1. Condição Mínima de Atratividade e Custos Envolvidos	95
5.2.2. Condição Mínima de Viabilidade do CIL	97
5.2.3. Interação Transporte - CIL	97
5.3. MODELO MATEMÁTICO	98
5.3.1. Particularidades: Restrições que Podem ser Inseridas no Modelo Matemático	102
5.3.2. Comentários Finais	103
<b>6. DEFINIÇÃO DO CENÁRIO PARA APLICAÇÃO DO MODELO</b>	<b>104</b>
6.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES GERAIS	104
6.1.1 Características da Produção Nacional	105
6.1.2 Grupos de Produtos	106
6.1.3 Características da Matriz de Transporte de Cargas	107
6.1.4 Definição dos Produtos para Aplicação do Modelo	110
6.1.5 Definição dos Fretes e Custos para o Modelo	112
6.1.6 Definição da Capacidade e Valor de Investimento no CIL	130
6.2 CARACTERIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES GEOREFERENCIADAS	132
6.2.1 Características do Zoneamento da Área de Estudo	132
6.2.2 Caracterização da Rede Multimodal do PNLT	133
6.2.2.1 Rede Rodoviária	134
6.2.2.2 Rede Ferroviária	135
6.2.2.3 Rede Hidroviária	135
6.2.2.4 Conexões Intermodais	136
6.2.3 Matrizes de Produção e Consumo	136
6.2.3.1 Soja	138
6.2.3.2 Farelo de Soja	140
6.2.3.3 Milho	143
6.2.3.4 Açúcar	146
6.2.3.5 Microrregiões de produção e consumo dos principais produtos	149

<b>7. APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO.....</b>	<b>150</b>
7.1 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO MODELO.....	150
7.2 SELEÇÃO DOS LOCAIS CANDIDATOS.....	155
7.3 PREPARAÇÃO DAS INFORMAÇÕES.....	157
7.3.1 Rotina de Obtenção dos Dados da Base Georeferenciada.....	157
7.3.2 Determinação dos Custos .....	158
7.3.3 Dados para Aplicação.....	159
7.3.4 Obtenção do Modelo Matemático .....	160
7.4 OBTENÇÃO DE RESULTADOS.....	160
7.4.1 Considerações sobre Avaliação de Instalação de CIL no PNLT.....	160
7.4.2 Construção dos Cenários de Aplicação .....	161
7.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	161
7.5.1 Resultados baseados na rede atual – ano base 2007.....	162
7.5.2 Resultados baseados na rede futura – ano horizonte 2023 .....	169
7.5.3 Avaliação das localizações de CIL.....	179
7.5.4 Avaliação da redução de custos de transporte a partir da abertura de CIL ..	181
7.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE .....	182
7.6.1 Análise de investimentos em função do número de CIL.....	183
7.6.2 Análise de descontos pela utilização do CIL.....	184
<b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>188</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>192</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1– Curvas de frete para diferentes modos de transporte. ....	11
Figura 2.2 – Comparação do custo da logística. ....	17
Figura 2.3 – Terminais intermodais aquaviários – Brasil e Estados Unidos. ....	20
Figura 2.4 – Rede de modelagem de transportes do PNLT – nacional. ....	22
Figura 2.5 – Rede de modelagem de transportes do PNLT – exterior. ....	22
Figura 3.1 – Estrutura de custos do transporte intermodal e do transporte rodoviário. ....	55
Figura 4.1 – Representação básica de um problema de localização de centros de distribuição para atender clientes que demandam produtos. (a) Distribuição espacial dos clientes e dos locais candidatos, e (b) Possível solução. ....	59
Figura 4.2 – Soluções para o mesmo problema de cobertura de conjuntos de localização de antenas transmissoras. ....	65
Figura 4.3 – Solução do problema de máxima cobertura para localização de antenas transmissoras. ....	65
Figura 4.4 – Estratégia de distribuição de produtos a partir de plantas, com centros de distribuição e pontos de demanda. ....	71
Figura 4.5 – Solução de problemas de localização-alocação com uso do software TransCAD. ....	88
Figura 5.1 – Rede esquemática de representação do problema de localização do CIL. ....	93
Figura 6.1 – Principais mercadorias transportadas em 2010 pelas malhas ferroviárias concedidas (percentual calculado sobre a produção de transporte em tku). ....	106
Figura 6.2 – Distribuição modal da matriz brasileira de transportes de cargas em 2011. ....	109
Figura 6.3 – Cadeia produtiva do complexo soja (em mil toneladas). ....	138
Figura 6.4 – Localização da produção, consumo e movimentação de comércio exterior referente à soja em 2007. ....	139
Figura 6.5 – Evolução da produção/consumo da soja entre 2015 e 2023. ....	140
Figura 6.6 – Localização da produção, consumo e movimentação de comércio exterior referente ao farelo de soja em 2007. ....	141
Figura 6.7 – Evolução da produção/consumo de farelo de soja entre 2015 e 2023. ....	142
Figura 6.8 – Cadeia produtiva do milho. ....	143
Figura 6.9 – Localização da produção, consumo e movimentação de comércio exterior de milho referente a 2007. ....	144
Figura 6.10 – Evolução da produção/consumo de milho entre 2015 e 2023. ....	145

Figura 6.11 – Cadeia produtiva do complexo cana-de-açúcar.....	146
Figura 6.12 – Localização da produção, consumo e movimentação de comércio exterior referente ao açúcar em 2007.....	147
Figura 6.13 – Evolução da produção/consumo de açúcar entre 2015 e 2023.....	148
Figura 7.1 – Metodologia utilizada na aplicação.....	151
Figura 7.2 – Etapa 1: seleção dos pontos candidatos. ....	153
Figura 7.3 – Etapa 2: montagem e aplicação do modelo matemático de minimização de custos de transporte.....	154
Figura 7.4 – Microrregiões que concentram 80% da produção de soja, milho, farelo de soja e açúcar (ano 2007).....	156
Figura 7.5 – Microrregiões candidatas a instalação de CIL – conexões rodo-ferroviárias e hidro-ferroviárias disponíveis (ano 2007). ....	156
Figura 7.6 – Rede multimodal – base georeferenciada do PNLT. ....	158
Figura 7.7 – Microrregiões candidatas a instalação de CIL – conexões rodo-ferroviárias (2007).....	163
Figura 7.8 – CIL habilitados a partir das conexões rodo-ferroviárias, sem limite de capacidade mínima.....	164
Figura 7.9 – CIL habilitado em Campo Grande, MS. ....	164
Figura 7.10 – CIL habilitado em Anápolis, GO. ....	165
Figura 7.11 – CIL habilitado em Alto Araguaia, MT. ....	165
Figura 7.12 – CIL habilitados a partir das conexões rodo-ferroviárias, com limite de capacidade mínima.....	166
Figura 7.13 – CIL habilitado em Alto Araguaia, MT. ....	166
Figura 7.14 – CIL habilitado em Andradina, SP. ....	167
Figura 7.15 – CIL candidatos a partir das conexões rodo-ferroviárias e rodo-hidroviárias (2007).....	168
Figura 7.16 – CIL habilitados a partir das conexões rodo-ferroviária ou rodo-hidroviária, com limite de capacidade mínima.....	168
Figura 7.17 – Microrregiões que concentram 80% da produção dos produtos selecionados (2023).....	170
Figura 7.18 – Microrregiões candidatas a instalação de CIL – conexões rodo-ferroviárias e hidro-ferroviárias disponíveis (2023). ....	171
Figura 7.19 – CIL habilitados para soja (2023).....	172
Figura 7.20 – CIL habilitados para milho (2023).....	173

Figura 7.21 – CIL habilitados para farelo de soja (2023). .....	174
Figura 7.22 – CIL habilitados para açúcar (2023). .....	175
Figura 7.23 – CIL habilitados para soja e milho (2023). .....	176
Figura 7.24 – CIL habilitados para soja, milho e farelo de soja (2023). .....	177
Figura 7.25 – CIL habilitados para soja, milho, farelo de soja e açúcar (2023). .....	179
Figura 7.26 – Redução no custo total em função do nível de investimento. ....	184
Figura 7.27 - Redução no custo total em função do nível de desconto adotado.....	186
Figura 7.28 - Redução no custo total em função do nível de desconto adotado.....	187

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Participação do custo logístico no PIB. ....	17
Tabela 2.2 – Potencial de redução de custo logístico. ....	18
Tabela 2.3 – Comparativo dos fretes médios entre Brasil e Estados Unidos – ano de 2008.	19
Tabela 2.4 – Comparativo entre Brasil e Estados Unidos na matriz do transporte de cargas – ano de 2008. ....	19
Tabela 6.1 – Participação relativa de cada modo no sistema de transportes de diferentes países. ....	109
Tabela 6.2 – Fretes mínimos, médios e máximos por produto. ....	114
Tabela 6.3 – Planilha Referencial de Custo de Transporte Rodoviário com Equipamento Silo (Granéis Sólidos) – Abril, 2013. ....	116
Tabela 6.4 – Faixas quilométricas das concessionárias de referência. ....	119
Tabela 6.5 – Tabela de referência América Latina Logística Malha Oeste S.A. ....	120
Tabela 6.6 – Estimativas do valor do frete (R\$/t.km) para curta distância ( < 500 km). ....	122
Tabela 6.7 – Estimativas do valor do frete (R\$/t.km) para longa distância ( > 500 km). ...	122
Tabela 6.8 – Estimativa de frete hidroviário (R\$/t.km), por tipo de carga e faixa de distância. ....	124
Tabela 6.9 – Estimativa de frete hidroviário (R\$/t.km), por tipo de carga nas hidrovias pesquisadas. ....	125

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Problemas que afetam a eficiência do transporte de carga.....	10
Quadro 3.1 – Classificação segundo o fluxo e a agregação de valor. ....	34
Quadro 3.2 – Classificação segundo o fluxo e a agregação de valor. ....	36
Quadro 4.1 – Descrição geral dos modelos matemáticos de localização.....	62
Quadro 6.1 – Lista de produtos relevantes e componentes associados.....	108
Quadro 6.2 – Tabela de tarifas para produtos vinculados à PGPM* e estoques estratégicos – vigência março de 2013.....	127
Quadro 6.3 – Custos de operação do CIL. ....	129
Quadro 6.4 – Matriz O/D para a soja – ano 2023.....	140
Quadro 6.5 – Matriz O/D para o farelo de soja – ano 2023.....	142
Quadro 6.6 – Matriz O/D para o milho – ano 2023.....	145
Quadro 6.7 – Matriz O/D para o açúcar – ano 2023. ....	148
Quadro 7.1 – Microrregiões habilitadas para implantação de CIL de soja.....	172
Quadro 7.2 – Microrregiões habilitadas para implantação de CIL de milho.....	173
Quadro 7.3 – Microrregiões habilitadas para implantação de CIL de farelo de soja. ....	174
Quadro 7.4 – Microrregiões habilitadas para implantação de CIL de açúcar.....	175
Quadro 7.5 – Microrregiões habilitadas para implantação de CIL de soja e milho. ....	176
Quadro 7.6 – Microrregiões habilitadas para implantação de CIL de soja, milho e farelo	177
Quadro 7.7 – Microrregiões habilitadas para implantação de CIL de soja, milho, farelo de soja e açúcar. ....	178
Quadro 7.8 – Resumo das localizações de CIL – Cenário 2023. ....	180
Quadro 7.9 – Resumo dos resultados dos cenários avaliados.....	181



# 1. INTRODUÇÃO

O funcionamento da inter e multimodalidade dependem, primordialmente, da existência de um sistema viário e de infraestruturas de integração modal eficientes. Assim, cabe ao planejamento estratégico de logística e transportes definir as prioridades para que sejam alcançadas e mantidas tais condições de eficiência.

Nesse contexto, o planejamento de estruturas de integração logística, também chamadas de Centros de Integração Logística – CIL, responsáveis pelas facilidades que permitem a prática da inter e multimodalidade, devem ser integrados ao planejamento estratégico, como um dos elementos funcionais dos sistemas de logística e transportes.

Desta forma, a localização, quantificação e avaliação de viabilidade de áreas de integração modal e de serviços logísticos, permite que se reformulem as diretrizes indicativas de investimentos em infraestrutura de transportes, considerando a inserção de elementos indutores da inter e multimodalidade, orientados sob as metas da Política Nacional de Transportes.

Destacando-se o funcionamento do sistema viário e de infraestrutura de integração logística no Brasil, foco de aplicação desta Tese, pode-se deduzir a necessidade de aprimoramentos técnicos e metodológicos visando contribuir com o planejamento estratégico, para fins de implantação de CIL.

Nessa diretriz, em termos nacionais, as proposições do planejamento estratégico governamental do setor de transportes, ressaltando, neste caso, o seu marco indicativo, o Plano Nacional de Logística e Transportes – PNL (MT e MD, 2007), necessita de aprimoramento técnico que indiquem formas e procedimentos para que se aperfeiçoe a integração modal no transporte de cargas, considerando atributos de custo das cadeias logísticas dos principais produtos nacionais, visando à otimização e racionalização dos custos de transporte no Sistema Nacional de Viação – SNV, e consequentemente o equilíbrio da matriz modal de cargas circulantes no Brasil, resultando ainda em menores índices de poluição atmosféricos.

Assim, para que o sistema viário brasileiro se configure em uma rede multimodal com efetivos ganhos para o desenvolvimento socioeconômico, pela redução dos custos de transporte, cabe ao planejamento desse setor considerar

metodologias que permitam avaliar como, onde e de que forma as estruturas de integração logística e modal devem ser consideradas no planejamento de transportes.

Por outro lado, a definição de um planejamento governamental dessas estruturas de integração logística, efetuadas sob as bases do planejamento estratégico, tende a fortalecer as ações da iniciativa privada, criando assim, uma sinergia de interesses que promovem maior segurança aos investimentos.

É importante destacar que por se tratar de um estudo voltado ao aperfeiçoamento de instrumentos de planejamento governamental, a abordagem aqui apresentada será uma visão macroscópica do problema, ou seja, não serão considerados elementos táticos e operacionais envolvidos na definição dos CIL. Também, considerada esta diretriz, a avaliação de operação de CIL será feita de maneira agregada, sem considerar volumes parciais ou sazonais, e sim, levando em conta volumes anuais de referência.

Além disso, a visão do problema se dará de forma normativa, ou seja, apenas considerando a visão do Governo, de redução nos custos totais, não levando em conta, nesta Tese, a visão empresarial, que incorpora objetivos distintos, como obtenção de lucro, por exemplo, e incorpora critérios de escolha em função do momento de uso.

Pelo exposto, contribuir cientificamente para que a metodologia de localização e funcionamento dessas estruturas de integração logística, considerando as plataformas metodológicas já desenvolvidas e em utilização, tem como objetivo colaborar com a otimização dos custos de transporte, fundamentais para ampliar a competitividade e garantir o desenvolvimento socioeconômico de qualquer região.

Essa Tese busca apresentar um procedimento científico, concatenado com as estruturas metodológicas utilizadas pelo planejamento de transportes no Brasil, visando contribuir para o seu aprimoramento, na proposição de localizações de estruturas de integração logística e modal, baseado no funcionamento do SNV e dos investimentos previstos para a sua evolução física e operacional.

## **1.1. OBJETIVO E ORIGINALIDADE**

O objetivo desta Tese consiste no desenvolvimento de uma proposição de metodologia para identificação do zoneamento logístico integrado ao planejamento estratégico de transportes, pelo uso de modelos matemáticos de localização-alocação,

considerando dados de uma base georeferenciada e os critérios e especificações técnicas estabelecidas pelo PNLT do Ministério dos Transportes (MT e MD, 2007).

Por zoneamento, entende-se delimitar geograficamente áreas territoriais com o objetivo de estabelecer regimes especiais de uso da propriedade. Assim, no contexto desta Tese, o estabelecimento de um zoneamento logístico se refere à determinação de uma região preferencial para estabelecimento de estruturas de integração logística.

Considera-se como originalidade deste trabalho a proposição de um modelo matemático de otimização, voltado para o planejamento de transportes, e que considera mais de um tipo de produto na alocação dos fluxos de produção-consumo, bem como a possibilidade de utilização de uma facilidade intermediária para concentração e redistribuição dos fluxos.

Para tanto, este trabalho se propõe a estabelecer um procedimento metodológico que busca propor a localização de estruturas de integração logística, também chamadas de Centros de Integração Logística – CIL que promovam a redução dos custos de transporte do País, bem como a redistribuição dos investimentos em transportes do Planejamento Governamental, de forma a incentivar a inter e multimodalidade, considerando, em um estudo de caso, os conjuntos de projetos e produtos indicados pelo PNLT, bem como suas metodologias.

## **1.2. RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA**

A indicação da localização de estruturas de integração logística e de infraestrutura de transportes surge como uma necessidade do Planejamento Nacional de Transportes, na orientação das políticas de integração, visando reformular as prioridades de investimentos que permitam a obtenção do equilíbrio da matriz modal de cargas, bem como estabelecer meios práticos e operacionais de incentivo concreto da inter e multimodalidade.

Nesse sentido, a instalação de estruturas de integração logística para o transporte de cargas no Brasil carece da formulação de diretrizes com a apropriação de instrumentos técnicos de análise, sob a ótica logística e de investimentos, para dar suporte ao planejamento de intervenções públicas e privadas na infraestrutura e na organização dos transportes, visando mitigar as externalidades negativas da

fragmentação dos processos logísticos, de modo a que o setor possa contribuir para a consecução das metas econômicas, sociais e ambientais do País.

A utilização de elementos como centros logísticos de integração ou plataformas logísticas é uma das principais tendências da logística mundial. Com a crescente globalização, as fronteiras nacionais estão sendo abolidas e as empresas, tornam-se dependentes de uma logística de suporte para serem mais competitivas diante da internacionalização da produção e do consumo.

A concepção de estruturas de integração logística assemelha-se ao conceito de centros logísticos de integração, bem como de plataforma logística, sendo a área de serviços logísticos, localizada em um ponto nodal das cadeias de transporte e de logística, no qual se obtenham contribuições importantes na cadeia de valor, por meio da prestação de serviços de agregação de valor, quer seja por meio da rede de transporte, ou apenas por intermédio dos serviços pontuais às unidades logísticas, representada por mercadorias, pessoas, veículos, equipamentos e outros.

A localização de estruturas de integração logística é de significativa importância para atingir os objetivos de equilíbrio no uso dos modos de transporte no Brasil.

Sabe-se que a correta especificação dos métodos e critérios para identificação de locais a serem beneficiados com estruturas de integração logística, assim como para sua viabilidade técnica, econômica, financeira e ambiental, necessitam da aplicação metodológica de estudos direcionados e o entendimento da movimentação de mercadorias, da distribuição territorial, dos hábitos de transporte internalizados entre as origens e destinos de transporte de cargas e passageiros, dos custos associados às cadeias logísticas, e de outros fatores.

Nesta Tese pretende-se abordar o tema sob a ótica de modelos de localização que levem em conta a informação e mapeamento já existente em termos de produção e consumo, infraestrutura disponível e metas de investimentos do Planejamento Nacional de Transportes.

Outra característica deste trabalho, que visa contribuir com o aperfeiçoamento do PNLT, é a validação e implementação do modelo de localização em um SIG, possibilitando o uso otimizado das informações existentes e uma melhor visualização dos resultados.

### **1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO**

O presente trabalho está dividido em sete capítulos. O primeiro apresenta as informações introdutórias, a descrição do objetivo, a justificativa do trabalho e a estrutura do texto.

No segundo capítulo, é feita uma análise dos custos de transporte no Brasil, sua relação com os principais produtos da economia nacional e como se dá o desenvolvimento nacional a partir da infraestrutura de transporte.

O terceiro capítulo trata da relação das estruturas de integração logística com o planejamento de transportes. Nesse capítulo é apresentado ainda um breve histórico do planejamento estratégico de logística e transporte no Brasil que fomenta a discussão sobre a importância das estruturas de integração logística para seu aprimoramento. Nesse capítulo se destaca o papel destas na redução de custos de transporte do País.

Por meio da visão sistêmica apresentada nos capítulos dois e três, se estruturam as bases teóricas que norteiam o trabalho proposto.

O quarto capítulo descreve os métodos, formulações e usos dos modelos matemáticos de localização-alocação, bem como o uso de sistemas de informação georeferenciada na escolha de locais para instalação de estruturas de integração logística, ou CIL, e os aspectos que fundamentam a proposição de utilização dos métodos de forma conjunta. Destaca-se nesse capítulo uma revisão geral das metodologias e formulações matemáticas dos problemas de localização-alocação, discorrendo sobre seu uso e aderência ao problema proposto.

O quinto capítulo foi reservado para a proposição metodológica de contribuição ao processo de definição da localização de estruturas de integração logística, ou como definido mais adiante, de Centros de Integração Logística – CIL, estruturando o cenário onde se pretende aplicar o modelo.

No sexto capítulo são conceituadas e definidas as variáveis que compõem o cenário base, e no capítulo sete são apresentados os procedimentos para obtenção dos dados e aplicação do modelo, bem como os resultados obtidos.

Finalmente, o capítulo oito apresenta as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros, seguido pelas referências bibliográficas utilizadas.

## 2. ANÁLISE DO CUSTO DE TRANSPORTE NO BRASIL

### 2.1. CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Visando estabelecer o entendimento dos principais elementos de referência deste trabalho, cabe destacar que, conforme descrito por DRUMMOND (2008), o termo Logística tem origem francesa: *“Vem do verbo loger, que significa alojar. A moderna logística, praticamente, se iniciou na Segunda Guerra Mundial, com os militares e compreendia as atividades relativas ao transporte, ao abastecimento e ao alojamento das tropas”*.

Para DASKIN (1995), a logística pode ser definida como sendo: *“O planejamento e a operação de sistemas físicos, informacionais e gerenciais, necessários para que insumos e produtos vençam condicionantes espaciais e temporais de forma econômica”*.

De acordo com o então *Council of Logistics Management – CLM* (1986), atual *Council of Supply Chain Management Professionals – CSCMP*, conforme citado por DRUMMOND (2008): *“Logística é o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo e armazenamento eficiente e econômico de matérias-primas, materiais semi-acabados e produtos acabados, serviços, bem como as informações a eles relativas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes”*.

Outro conceito importante e associado ao anterior trata dos fatores classificados como gastos e custos. A noção de custo está diretamente ligada à produção de bens ou serviços. As aquisições para produções geram custos diversos.

O custo é um gasto que só é reconhecido efetivamente como tal no momento de sua utilização na fabricação de um produto ou na execução de um serviço, sendo que o custo pode ser fixo ou variável (DRUMMOND, 2008).

Nessa diretriz, ainda com base na análise de DRUMMOND (2008), apesar de a logística não fazer parte do processo produtivo, sob o ponto de vista do contratante, a logística é tratada como serviço, portanto, (a partir dessa concepção) pode ser inferido que ocorrem custos. Assim, custos com logística e/ou transportes podem ser classificados de custos logísticos / custos de transporte.

Considerando que os sistemas e operações de transporte estão diretamente associados com os aspectos da logística, KOTLER (1974) afirma que se ao escolher um sistema de transporte, deve-se levar em conta não apenas o valor do frete, mas o chamado custo logístico total. Segundo o autor, o custo logístico total pode ser representado pela expressão:

$$CT = Ft + CF + CV + VP \quad (2.1)$$

Onde:  $CT$  = Custo Total de distribuição do sistema proposto;

$Ft$  = Custo do transporte (Frete/Tarifa);

$CF$  = Custos Fixos (corresponde à embalagem, armazenagem, etiquetagem, preparação de pedidos, emissão de notas fiscais, fracionamento de carga entre outros);

$CV$  = Custos logísticos Variáveis; e

$VP$  = Valor do custo de Perdas de vendas, devido à demora de entregas.

Neste contexto, o custo de transporte insere-se como um dos componentes do custo de distribuição. Da Equação 2.1, destaca-se a grande relevância dos custos de deslocamentos (transporte) das mercadorias ou matérias primas, nos custos totais de distribuição.

Assim, a seleção dos meios de transporte é de suma importância para a minimização dos custos e deve levar em conta diversos fatores, como (DAVID, 2007):

- **Custo fixo** – consta da necessidade de investimento inicial por tonelada;
- **Custo variável** – custo de operação por tonelada-quilômetro (t.km);
- **Rapidez** – velocidade do transporte, fator tanto mais importante quanto maior for o valor da mercadoria por tonelada;
- **Disponibilidade** – existência do meio nas várias origens e destinos;
- **Confiabilidade** – probabilidade de que a mercadoria chegue ao destino sem avarias e dentro do prazo programado;
- **Capacidade** – volume de carga transportado por viagem; e
- **Frequência** – intervalos entre viagens.

Com base nesses conceitos, cabe destacar que os custos de transporte variam ainda pelo tipo de mercadoria transportada. Isso está diretamente vinculado, entre outros fatores: ao volume (quantidade), à sazonalidade (período de produção/consumo), ao tipo de mercadoria

(granéis sólidos, líquidos, cargas soltas, produtos industrializados, e outros) e disponibilidade de infraestrutura de transporte (possibilitando ou não a inter e/ou multimodalidade).

No Brasil, para a maioria das cargas, predomina, mesmo com a utilização da inter/multimodalidade, o uso do modo rodoviário. Este fenômeno é natural pela acessibilidade promovida por esse modo de transporte, pelo qual se executa, na maioria das mercadorias, o transporte porta a porta. Por isso, os valores dos fretes rodoviários podem reduzir a competitividade de outros modos de transporte, dependendo da forma como são praticados.

Esse fenômeno da predominância do modo rodoviário pode ser evidenciado pela distribuição da matriz modal do transporte de cargas no Brasil, onde o mesmo apresenta-se como o principal meio de deslocamento. A participação dos modos rodoviário, ferroviário e aquaviário no transporte de cargas brasileiro é significativamente diferente daquela encontrada em outros países de dimensões continentais. No Brasil existe uma excessiva concentração de transporte de cargas no modo rodoviário, similar ao que acontece em países com baixa extensão territorial (CNT e COPPEAD, 2002).

Assim, além dos fatores citados anteriormente, no complexo contexto dos custos operacionais dos transportes, DAVID (2007) indica que, para ser avaliado, as variáveis que o influenciam, dependem das peculiaridades de cada empresa envolvida com os serviços de transporte, bem como pela qualidade e eficiência das redes viárias onde esses serviços ocorrem.

Essas peculiaridades, por sua vez são múltiplas, contudo, destacando-se entre elas DAVID (2007): quilometragem percorrida, tipo de operação, tipo manutenção, tipo de rodovia, tipo de carga, topografia (relevo), condições climáticas, tipo de tráfego, porte e idade do veículo, velocidade, existência (ou não) de carga de retorno, e tipo de comportamento do condutor.

As descrições anteriores tratam dos custos de transporte inseridos nos custos totais de movimentação de mercadorias, sob a visão daqueles que demandam e operam serviços de transporte. Contudo, sob a visão estrita dos custos de operação dos transportes, sejam eles logísticos ou de movimentação dos veículos propriamente dita, cada modo possui formulações que não se referem aos fretes e tarifas, mas aos reais gastos operacionais.



Assim, o custo operacional é tratado de forma adequada para cada modo de transporte, considerando os fatores listados anteriormente e sua associação com os tipos e/ou composição dos veículos que são utilizados para movimentação das cargas.

Espera-se que os fretes/tarifas de custeio para um determinado serviço de transporte, sejam superiores aos seus custos operacionais. Os fretes/tarifas devem considerá-lo, adicionando-se outros custos, além do lucro esperado para praticar esse serviço.

Para o cálculo dos custos operacionais para cada modo de transporte, existem consagradas metodologias científicas, citando-se como exemplo, para o modo rodoviário, o HDM-4 – *Highway Development & Management* (PIARC, 2000). Essa metodologia permite calcular os custos operacionais do transporte rodoviário, por classe de veículo e tipo de pista, associados a diversas outras variáveis. De forma semelhante, para outros modos, existem outras metodologias e procedimentos.

No caso do HDM-4, o conjunto de fatores utilizados para o cálculo dos custos operacionais envolve, ainda, um considerável número de variáveis relacionadas com os gastos para manutenção e conservação dos veículos (peças, materiais, outros), a sua depreciação, eficiência no consumo de energia (combustíveis), entre outros.

Esses custos, contudo, não consideram os encargos e tributos sobre os serviços de transporte praticados com tais veículos, mas somente os gastos para executar a movimentação em uma determinada rota de transporte, não sendo considerado o tipo de mercadoria. O que influencia também os custos operacionais, e principalmente no caso do HDM-4 são as condições de qualidade das vias utilizadas. Constam, nesse caso, as condições de trafegabilidade, relacionadas às condições do pavimento rodoviário.

Dito isso, os fatores anteriores tratam-se daqueles relacionados com a operação e logística dos transportes, contudo, não podem ser desconsideradas, nesses tipos de análises, as condições físicas e operacionais da infraestrutura viária. As condições de manutenção e conservação das vias de transporte, principalmente do modo rodoviário, afetam consideravelmente o custo operacional de movimentação.

Nesse contexto, TOYOSHIMA e FERREIRA (2002) afirmam que “*os serviços de transporte parecem constituir-se em fator crucial para a promoção do desenvolvimento econômico de um país, o que tornaria indispensável o provimento de uma rede muito bem estruturada de transporte para induzir à maior integração tanto intersetorial como regional em toda a estrutura produtiva, fundamentada nos ganhos de competitividade daí decorrente*”.

Pode-se considerar na atividade de transporte que as questões de infraestrutura viária se caracterizam como “externalidades”, principalmente quando os seus investimentos dependem de ações governamentais.

Quando existem deficiências na infraestrutura, concomitantemente se observa um desbalanceamento da matriz modal de transporte de cargas, como no caso brasileiro, onde se tem uma combinação de fatores diretamente relacionados com elevados custos de transporte e ineficiências logísticas.

Conforme CNT e COPPEAD (2002), os principais fatores que influenciam a eficiência do transporte de carga estão caracterizados em quatro grupos:

- 1) O desbalanceamento da matriz de transportes;
- 2) A legislação e fiscalização inadequadas;
- 3) A deficiência da infraestrutura de apoio; e
- 4) A insegurança nas vias.

Esses elementos, indicados pelo autor citado, são apresentados no Quadro 2.1.

**Quadro 2.1** – Problemas que afetam a eficiência do transporte de carga.

<b>BAIXA EFICIÊNCIA NO TRANSPORTE DE CARGA</b>				
<b>PRINCIPAIS CAUSAS PRIMÁRIAS</b>	Desbalanceamento da matriz de transporte	Legislação e fiscalização inadequadas	Deficiência da infraestrutura de apoio	Insegurança nas vias
<b>PRINCIPAIS CAUSAS SECUNDÁRIAS</b>	Baixo preço dos fretes rodoviários	Regulamentação do transporte	Bases de dados do setor de transporte	Roubo de cargas
	Poucas alternativas ao modo rodoviário	Legislação tributária e incentivos fiscais		
	Barreiras para a intermodalidade	Fiscalizações ineficientes	Tecnologia de informação	Manutenção das vias
	Privatização do modo rodoviário pelo governo	Burocracia	Terminais multimodais	

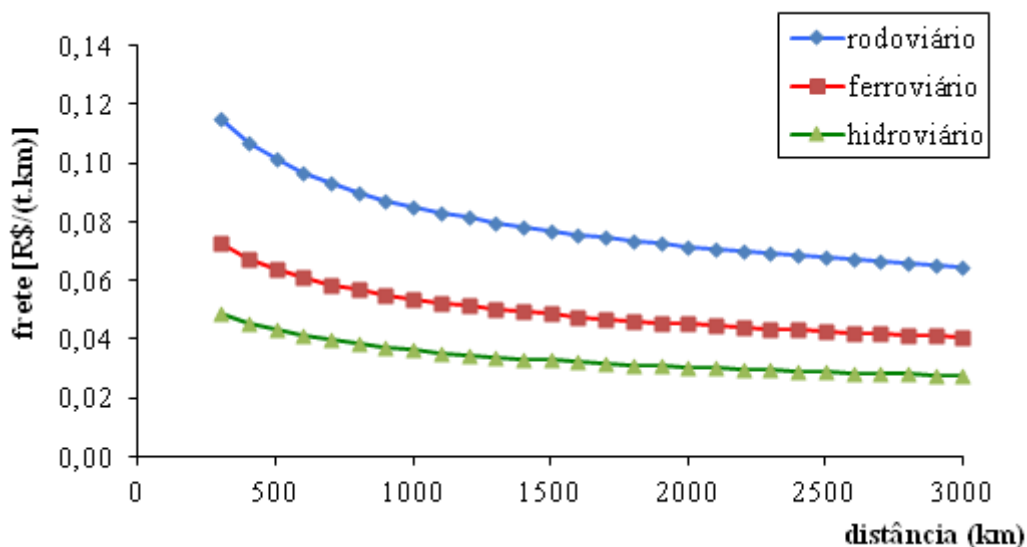
Fonte: CNT e COPPEAD (2002).

Assim, quanto ao aspecto da infraestrutura de logística e transporte, a promoção da inter e multimodalidade são, entre os elementos disponíveis, aqueles com atributos com consideráveis eficiências para a redução dos custos de movimentação de cargas. Como

exemplo da redução dos custos de transporte, pela prática da inter e multimodalidade, tomam-se como referência as descrições registradas no PNLT (MT e MD, 2007).

A modelagem de transportes utilizada no PNLT considera, na aplicação do modelo de quatro etapas, para execução do processo de divisão modal, funções de frete por tonelada-quilômetro com base na distância percorrida, obtidas a partir de fretes reais praticados no mercado e disponíveis na base Sistema de Informações de Fretes – SIFRECA (USP, 2012), projeto permanente do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ da Universidade de São Paulo – USP.

A diferença de preços por toneladas, por modo de transporte, pode ser avaliada conforme a Figura 2.1, que ilustra, como exemplo, as curvas de frete rodoviário, ferroviário e hidroviário (expressas em R\$ por tonelada-quilômetro) adotados para granéis vegetais.



Fonte: MT e MD (2007).

**Figura 2.1**– Curvas de frete para diferentes modos de transporte.

Verifica-se pela Figura 2.1 que, em condições iguais de competitividade, o transporte de mercadorias pelo modo hidroviário torna-se mais barato em relação ao modo ferroviário, e ambos, em relação ao rodoviário. Assim, a otimização de rotas viárias multimodais, reduz os custos de transporte totais na movimentação de mercadorias entre as zonas de produção e as de consumo.

Isso, contudo, depende de alguns fatores já citados, como, do tipo de mercadoria, dos volumes produzidos, das disponibilidades de integração dos modos de transporte e dos serviços associados, que acabam sendo relacionados entre si.

Para que tais rotas possam ser avaliadas visando otimizar os custos pela prática da multimodalidade, a relação territorial entre o sistema viário (infraestrutura disponível) e os arranjos produtivos e práticas de consumo, devem ser devidamente identificados. Esse tipo de identificação trata da complexidade de sistemas viários e suas relações no atendimento à demanda de transportes, com a qual se estabelece as funções de custos.

Neste ponto, para fins de esclarecer as semelhanças e diferenças entre eles, cabe conceituar o transporte inter e multimodal. Embora trate do transporte por meio de mais de um modo, entre uma origem e um destino, no contexto brasileiro, a intermodalidade tem como característica a emissão de documentos de transporte independentes, um para cada transportador, onde cada um assume a responsabilidade pelo seu transporte (modo).

Já na multimodalidade, existe a emissão de apenas um documento de transporte, emitido pelo chamado Operador de Transporte Multimodal – OTM, sendo com isso, responsável pela movimentação da carga entre a sua origem e o seu destino final (ALVAREZ, 2011). Dessa forma, pode-se dizer que:

- **Intermodalidade:** utilização conjunta de mais de um modo, no qual são utilizados documentos fiscais individuais para cada tipo de transporte; e
- **Multimodalidade:** integração total da cadeia de transporte, de forma a permitir um gerenciamento integrado dos modos utilizados, bem como das operações de transferência, com a aplicação de um único documento.

Com relação ao manuseio da carga em si, também há diferenças entre a inter e a multimodalidade. Não se trata apenas de uma questão semântica, foram identificadas características bem definidas dentro da evolução do uso de mais um modo para o transporte de carga. Segundo NAZÁRIO (2000a), tem-se como caracterizar o assunto com base nas seguintes fases:

**Fase 1** – Movimentação caracterizada apenas pelo uso de mais de um modo de transporte.

**Fase 2** – Melhoria da eficiência na integração entre modos. A utilização de contêineres, de equipamentos de movimentação em terminais e de outros instrumentos especializados na transferência de carga de um modo para outro, possibilita a melhoria do desempenho no transbordo da carga.

**Fase 3** – Integração total da cadeia de transporte, de forma a permitir um gerenciamento integrado de todos os modos utilizados, bem como das operações de transferência, caracterizando uma movimentação “*porta a porta*” com a aplicação de um único documento.

A primeira fase caracteriza-se por um transporte combinado, ou seja, na utilização de mais de um modo com baixa eficiência na transferência.

Na segunda fase, observa-se a intermodalidade. Para essa, em 1993, na *European Conference of Ministers of Transport*, definiu-se: “*o movimento de bens em uma única unidade de carregamento que usa sucessivos modos de transporte sem manuseio dos bens na mudança de um modo para outro*” (NAZÁRIO, 2000b).

A terceira fase caracteriza a multimodalidade, onde, em 1995, no livro americano *Intermodal Freight Transportation* estabeleceu-se a seguinte definição: “*transporte realizado por mais de um modo, caracterizando um serviço porta a porta com uma série de operações de transbordo realizadas de forma eficiente e com a responsabilidade de um único prestador de serviços por meio de documento único*”.

Ainda segundo NAZÁRIO (2000b), o Ministério dos Transportes do Brasil definiu a terceira fase como transporte multimodal, mesmo que essa nomenclatura não seja explicitamente utilizada, como pode ser observado pelo nome do livro citado.

De qualquer forma, a utilização de mais de um modo de transporte na movimentação de cargas, promove consideráveis benefícios para a redução dos custos desses serviços e, conseqüentemente, dos custos totais.

Contudo, NAZÁRIO (2000a) informa que uma das principais barreiras ao conceito da multimodalidade no Brasil diz respeito à regulamentação da prática do OTM, pois com a implantação de um documento único de transporte, alguns estados argumentam que seriam prejudicados na arrecadação do Imposto sobre Circulação de Mercadorias – ICMS. Esse mesmo autor cita que:

*“A integração modal pode ocorrer entre vários modos: aéreo-rodoviário, ferroviário-rodoviário, aquário-ferroviário, aquário-rodoviário ou ainda mais de dois modos. A utilização de mais de um modo agrega vantagens a cada modo individualmente, caracterizadas pelo nível de serviço e custo. Combinados, permitem uma entrega porta a porta a um menor custo e um tempo relativamente menor, buscando equilíbrio entre preço e serviço.”*

Com isso, pode-se visualizar uma clara necessidade de ampliação das atividades e unidades físicas facilitadoras da inter e multimodalidade.

Outro fator que afeta os custos de transporte, consta da eficiência da regulação governamental, principalmente se o serviço e/ou infraestrutura de transporte for concedida à iniciativa privada. Os valores de fretes e tarifas praticadas podem variar em função da eficiência regulatória, principalmente nos modos de transporte que dependem de massivos volumes de cargas e investimentos privados para o seu funcionamento.

Dependendo das obrigações e direitos estabelecidos nos contratos de concessão de transporte, tanto nos investimentos de expansão e adequação da infraestrutura viária, como nos fatores de competitividade de mercado, podem estimular altos custos de transporte, baixa competitividade, ineficiências dos serviços prestados e inadequação dos sistemas viários, seja para um ou mais modos de transporte. Ou, outro fator que envolve todos os anteriormente descritos e analisados, consta da política tarifária incidente sobre o setor de transportes.

No Brasil, a chamada bitributação, ocorrida pela emissão de notas de diferentes empresas, nas operações e serviços de transporte para o movimento de uma carga por mais de um modo, entre sua origem e destino, inibem, em diversos casos, os benefícios das reduções de custos obtidos pela intermodalidade.

Por outro lado, no caso da multimodalidade, o OTM, pelo menos no Brasil, encontra dificuldades para execução de sua atividade, devido a entraves da própria política tributária vigente, entre outros fatores (RIBEIRO e FERREIRA, 2002).

Assim, pode-se deduzir que na composição dos custos totais de distribuição de uma determinada carga, o fator “custo de transporte” possui considerável importância e peso. No caso do Brasil, as questões que geram ineficiências desses serviços e as condições da infraestrutura disponível, elevam ainda mais essa importância.

Dessa forma, entender o contexto dos transportes no chamado “Custo Brasil”, não se trata apenas de uma simples identificação de fatores, mas de relações entre esses fatores e das características de suas dimensões.

Observa-se, pelas descrições anteriores, que o setor de transporte tem um considerável papel na composição do “Custo Brasil”, e ao mesmo tempo, para que seus custos sejam reduzidos, depende de aspectos relacionados á mudanças da política tarifária, dos investimentos infraestrutura, nos incentivos governamentais para a operação de inter e multimodalidade como elementos compensadores do processo de movimentação de cargas, entre outros, descritos e analisados anteriormente.

Contudo, se ao mesmo tempo ele depende desses aspectos para induzir redução dos seus custos, uma vez conquistada essa redução, promove-se outros ganhos na cadeia produtiva onde se insere.

## **2.2. O TRANSPORTE E SUA RELAÇÃO COM OS PRINCIPAIS PRODUTOS DA ECONOMIA NACIONAL**

O chamado “Custo Brasil” trata-se de um termo consagrado em diversas áreas do conhecimento e da própria linguagem coloquial, para se designar um conjunto de dificuldades estruturais existentes nas dimensões burocráticas e econômicas, cujo resultado é percebido pelo encarecimento dos investimentos no Brasil, gerando, assim, entraves para o crescimento econômico nacional.

Segundo CASTOR (1999), as causas do chamado “Custo Brasil” vão além daquelas discutidas historicamente. Segundo o autor: *“quando se discute o Custo Brasil, sai-se, incontínenti (imediatamente), à cata dos suspeitos habituais: o déficit público, os elevados custos de transporte e porto, a sempre crescente carga tributária e os custos associados ao trabalho e à previdência”*.

Sem desconsiderar esses fatores, pois efetivamente influencia na formação dos custos da economia, resultando em um quadro de pouca competitividade internacional, tão conhecida e tratada nos diversas áreas do conhecimento, CASTOR (1999) ressalta que há outros fatores importantes na composição do chamado “Custo Brasil”.

Esse autor indica então que é necessário ir além dos fatores “mais visíveis”, induzindo o raciocínio sobre o tema, para aspectos referentes ao próprio processo de

formação empresarial, sociocultural e político, e em fatores de natureza geoestratégica, como elementos de explicação para essa dificuldade crônica em alinhar o setor produtivo com as economias mais competitivas (CASTOR, 1999).

Dessa forma, o “Custo Brasil” está relacionado com a diferença dos custos de produção praticados no Brasil e em outros países do mundo, o que torna os produtos nacionais menos competitivos, tanto no mercado doméstico como no comércio exterior.

Segundo ARBACHE e NEGRI (2003) *apud* SERAFIM (2009), a literatura lista as seguintes dificuldades encontradas no Brasil, e que afetam o chamado “Custo Brasil”: *a alta carga tributária, a falta de incentivos para exportação, os problemas logísticos e os custos de transporte. Além disso, fatores como o alto nível de burocracia e a corrupção também podem ser considerados no conjunto de fatores que formam o “Custo Brasil”.*

SERAFIM (2009) cita em seu trabalho, que de acordo com MANTEGA (1997), o “Custo Brasil” sempre esteve presente. Entretanto, foi com a competição internacional que esse “custo” passou a ser uma questão de sobrevivência.

Além disso, o autor também destaca que o poder de competição está relacionado com a capacidade produtiva das empresas e com as políticas econômicas do governo. Desse processo, se destacam os custos de transporte, que podem ser interpretados como custos de logística e de transporte, pertencentes às cadeias de produção e consumo.

Na Tabela 2.1 é possível se observar uma comparação dos percentuais de participação do custo logístico no valor do PIB.

Com base nos estudos de REBELO (2011), e tomando-se como referência a estimativa do custo logístico de 15,4% do valor do PIB brasileiro, podem-se verificar pela Figura 2.2 as percentagens dos custos logísticos estimados para os Estados Unidos e o Brasil. A Tabela 2.3 apresenta os principais valores utilizados para as estimativas da Figura 2.2, e o potencial de reduções de custos logísticos possíveis para o Brasil.

Pode-se deduzir das Tabelas 2.1 e 2.2, bem como da Figura 2.2, que os custos de transporte destacam-se como o principal componente dos custos logísticos e, conseqüentemente, com significativa contribuição para o chamado “Custo Brasil”.

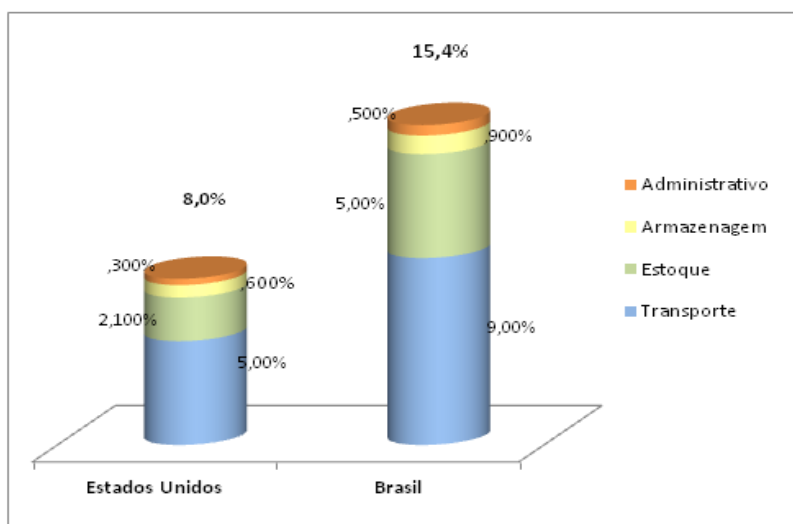


Nesse contexto, o setor de transportes desenvolve uma recíproca relação com progresso econômico, pelo fato de proporcionar acessibilidade e mobilidade, integrando pessoas e produções e consumos de mercadorias, viabilizando, assim, a economia (PEREIRA, 2009).

**Tabela 2.1** – Participação do custo logístico no PIB.

País	Custo Logístico / PIB
Estados Unidos	8,5 %
OECD <sup>1</sup> (média)	9,0 %
Chile	16,0 %
México	18,5 %
<b>Brasil<sup>2</sup></b>	<b>10,6 % - 15,4 %</b>
Argentina	27%
Peru	32%

Fonte: GUASCH (2002) e REBELO (2011).



Fonte: Estimativa Banco Mundial (FAY e MORRISON, 2007), adaptado de REBELO (2011).

**Figura 2.2** – Comparação do custo da logística.

<sup>1</sup> Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (Organisation for Economic Cooperation and Development), da qual fazem parte 34 Países: Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Grécia, Islândia, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Noruega, Países Baixos, Portugal, Reino Unido, Suécia, Suíça, Turquia, Alemanha, Espanha, Canadá, Estados Unidos, Japão, Finlândia, Austrália, Nova Zelândia, México, República Tcheca, Hungria, Polônia, Coreia do Sul, Eslováquia, Chile, Eslovênia, Israel, Estônia.

<sup>2</sup> Existem controvérsias sobre o cálculo de custo logístico no Brasil. A COPPEAD estima o custo logístico do Brasil em 13,6% do PIB em 2004, outros autores consideram o custo de estoques muito mais alto, CASTRO (2004) estima o custo logístico em cerca de 17,0% e GUASCH (2002) estimou em 24,0% em 2002. Segundo estimativa do Banco Mundial (FAY e MORRISON, 2007), o custo logístico brasileiro seria 15,4% do PIB, mais que 2 vezes acima do percentual americano.

O equilíbrio da matriz de transportes de cargas, ou seja, a efetivação do transporte inter e multimodal no Brasil possibilitaria o setor de transportes induzir, em médio e longo prazo, uma considerável redução no “Custo Brasil”, tanto para o setor privado, nas tarifas dos serviços de transporte de cargas, como para o setor público, pela priorização e redução dos gastos com investimentos em infraestrutura viária.

**Tabela 2.2 – Potencial de redução de custo logístico.**

	Custo Logístico		Transporte (49%)		Estoque (42%)		Armazenagem (5%)		Administrativo (4%)	
	%	US\$ (bilhões)	%	US\$ (bilhões)	%	US\$ (bilhões)	%	US\$ (bilhões)	%	US\$ (bilhões)
Peso e Custo no PIB	15,4	124,4	9,0	72,7	5,0	40,3	0,9	7,3	0,5	4,0
Peso e Custo possível no PIB	9,0	72,6	5,0	40,3	3,1	25,0	0,6	5,0	0,3	2,4
<b>Espaço para redução de custo</b>	<b>51,8 bilhões/ano</b>		<b>32,4 bilhões/ano</b>		<b>15,3 bilhões/ano</b>		<b>2,0 bilhões/ano</b>		<b>1,6 bilhões/ano</b>	

Fonte: Estimativa Banco Mundial (FAY e MORRISON, 2007), adaptado de REBELO (2011).

Pela análise de ELLER *et al.* (2011) o transporte de carga no Brasil é exclusivamente dependente do modo rodoviário. Segundo essa fonte, “*as condições insatisfatórias do sistema têm onerado os produtos brasileiros com custos elevados de frete e manutenção de veículos, reduzindo sua competitividade. A necessidade constante de investimentos em conservação das rodovias faz com que os recursos públicos nunca pareçam suficientes para manter a qualidade do sistema*”.

Desta forma, a importância do setor de transporte no chamado “Custo Brasil”, passa pela ineficiência, não de um ou outro modo de transporte especificamente, mas pelas deficiências encontradas e medidas em cada uma das redes viárias, e principalmente, pela escassez de instrumentos e infraestruturas de integração modal, carentes de serem

disseminadas em pontos territoriais estratégicos para a produção e o desenvolvimento da economia nacional. Assim, sem desconsiderar os problemas causados pelas ineficiências executivas do setor de transportes, cabe ressaltar que a visão estratégica dos transportes, em prol de um planejamento e desenvolvimento da infraestrutura viária sob o conceito do SNV apresenta-se como a principal diretriz de promoção da inter e multimodalidade no Brasil.

Pela avaliação da Tabela 2.3 e da Tabela 2.4, pode-se verificar que os fretes e tarifas praticados em solo norte-americano, privilegiam os modos de transporte de maior capacidade, o que, por sua vez, influencia o custo logístico médio.

**Tabela 2.3** – Comparativo dos fretes médios entre Brasil e Estados Unidos – ano de 2008.

Modo	Frete médio padrão internacional (US\$/1.000 TKU)	
	Brasil	Estados Unidos
Rodoviário	45,0	60,0
Ferroviário	30,0	16,0
Aquaviário	10,0	5,0
Dutoviário	10,0	10,0
Aeroviário	360,0	320,0
<b>TKU = transporte de uma tonelada por um quilômetro</b>		

Fonte: Adaptado de PAVAN (2011).

**Tabela 2.4** – Comparativo entre Brasil e Estados Unidos na matriz do transporte de cargas – ano de 2008.

Modo	Quantidade de cargas transportadas			Matriz de transporte (%)		
				Brasil		Estados Unidos
	Milhões de TKU	Mil TU	Distância média (km)	Com minério de ferro*	Sem minério de ferro	
Rodoviário	595.00	933.000	638	60	71	26
Ferroviário	244.000	432.000	564	22	7	34
Aquaviário	120.000	429.000	280	14	18	25
Dutoviário	29.000	33.000	880	3	3	14
Aeroviário	3.800	3.800	1.000	1	1	1
<b>Total</b>	<b>992.000</b>	<b>1.830.000</b>	<b>542</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Custo médio (US\$ / 1.000 TKU)</b>				<b>39,0</b>	<b>40,0</b>	<b>27,0</b>
<b>Custo médio maior que os Estados Unidos</b>						
<b>US\$ 11,0/MTKU x 992 MTKU = US\$ 11,0 bilhões/ano ou R\$ 24,0 bilhões/ano**</b>						

\*Minério de ferro e carvão: 180 bilhões de TKU/ano

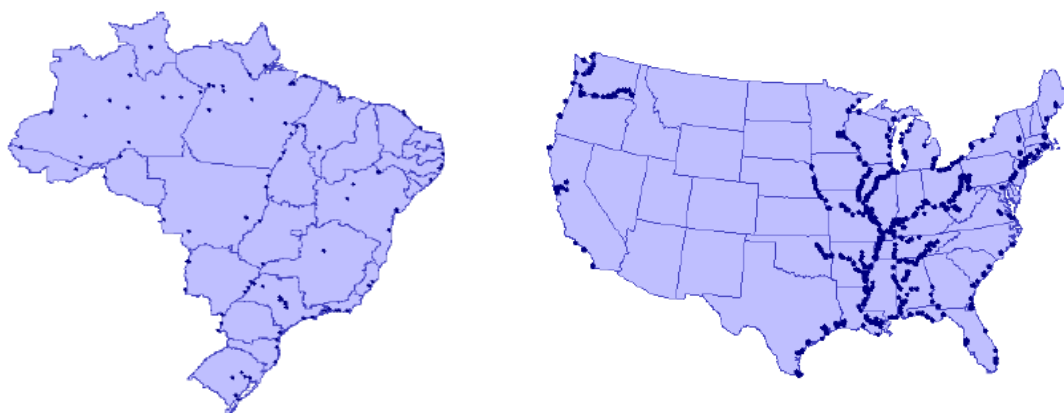
\*\*1 US\$ = R\$ 2,2

Fonte: Adaptado de PAVAN (2011).

Isso ocorre tanto pela política de transporte que incentiva um sistema viário inter e multimodal, promovendo aumento da demanda e redução das tarifas praticadas nas ferrovias e hidrovias, principalmente, bem como uma política tarifária que não onera demasiadamente os custos dos serviços de transporte, sejam eles somente pelas rodovias, ou pela inter e multimodalidade. Sob outro aspecto, esses valores significam um incentivo à utilização dos transportes inter e multimodal de cargas tanto para os próprios operadores como para os demandadores de transporte, não permitindo, como no Brasil, que o valor praticado dos fretes rodoviários chegue a inviabilizar a concorrência com os demais modos de transporte.

Com base no contexto apresentado, torna-se importante destacar que o funcionamento e a qualidade da infraestrutura de transportes de um País influenciam nos custos logísticos finais que afetam o transporte de cargas. Especificamente, a utilização da infraestrutura para prática de um transporte de cargas inter e multimodal, resulta em custos otimizados de transporte, reduzindo assim, significativamente, os custos logísticos, tal como apresentado na ilustração da Figura 2.2.

Para que seja garantida a prática da inter e multimodalidade, estruturas de integração logística devem estar presentes nos sistemas de viação. Esta é uma prática já difundida em Países com transporte de carga inter e multimodal. Isso é o que se deduz da comparação entre os sistemas viários dos Estados Unidos e o do Brasil. Como exemplo a Figura 2.3 apresenta uma ilustração dos terminais intermodais aquaviários dos dois países. Dessa forma, pode-se inferir que a infraestrutura viária e de terminais de integração logística têm significativo impacto nos custos logísticos praticados nos serviços de transporte.



Fonte: CNT e COPPEAD (2002).

**Figura 2.3** – Terminais intermodais aquaviários – Brasil e Estados Unidos.

### **2.3. A INFRAESTRUTURA VIÁRIA DE TRANSPORTE E SEU IMPACTO NO DESENVOLVIMENTO NACIONAL**

Conforme publicado pelo Ministério dos Transportes (MT e MD, 2007), a rede multimodal utilizada pelo PNLT foi desenvolvida em um SIG, de forma a permitir a visualização da infraestrutura atualmente disponível e facilitar a identificação de eventuais gargalos e elos faltantes.

Essa composição permite ter uma noção da complexidade dessas relações, somente pela identificação da oferta multimodal. As Figuras 2.4 e 2.5 apresentam, respectivamente, a rede nacional multimodal de transportes e as conexões ao exterior consideradas no PNLT.

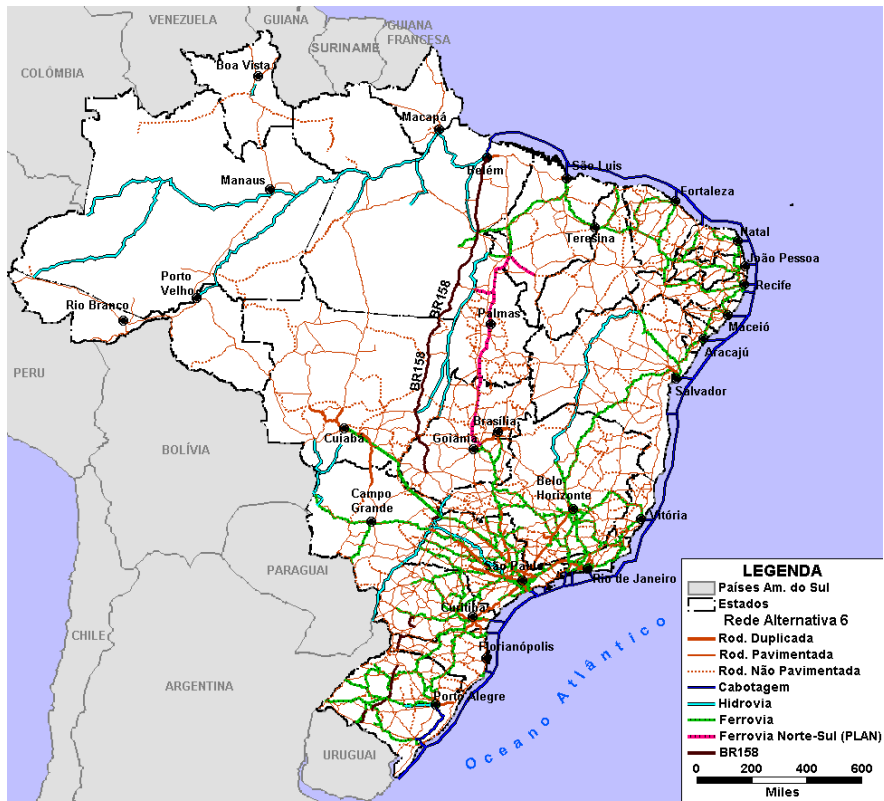
Essas figuras ilustram um sistema que busca simular, em uma plataforma georeferenciada, utilizando-se para tanto os modelos matemáticos de planejamento de transportes, o funcionamento otimizado do sistema inter e multimodal para o transporte de cargas. Contudo, essas simulações partem de uma realidade, estabelecida em 2006, buscando verificar conjuntos de investimentos que fomentem a ampliação da inter e multimodalidade, em cenários de médio e longo prazo.

Estabelecendo como uma das suas metas a obtenção do equilíbrio da matriz modal do transporte de cargas, o PNLT organizou conjuntos de investimentos nesse setor, e vem sendo revisado pelo Ministério dos Transportes – MT, periodicamente, desde a data de lançamento da sua primeira edição.

Assim, desde 2007, os resultados de investimentos indicativos do PNLT, passaram a orientar o planejamento e as ações executivas do Governo Federal brasileiro, quanto às prioridades de investimentos em infraestrutura de transportes.

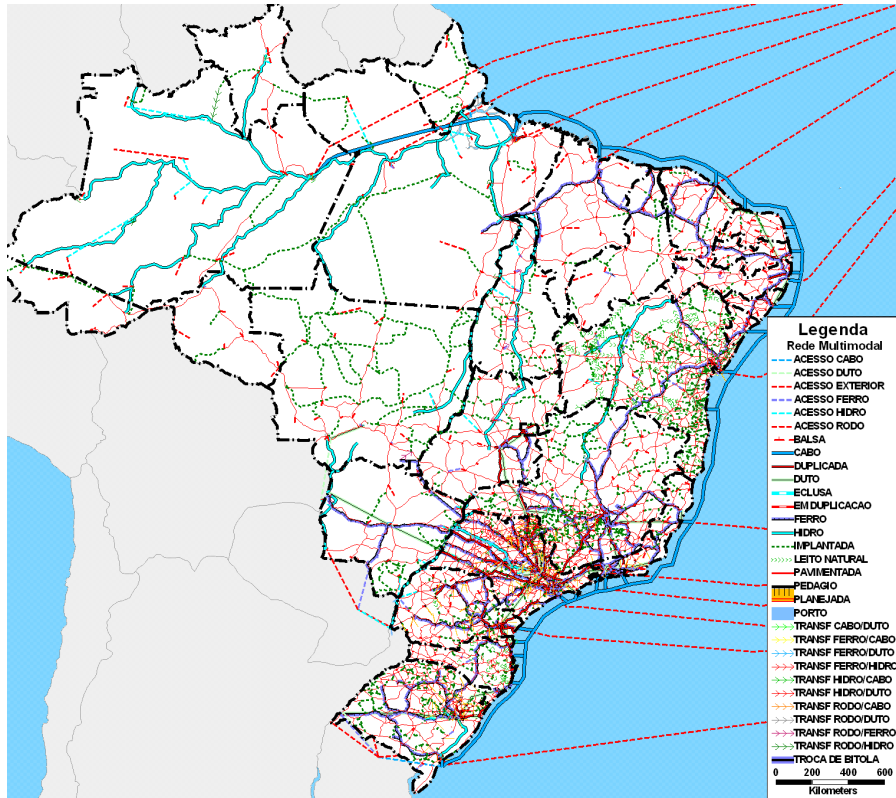
Indicando “gargalos” e “elos faltantes” no SNV, o PNLT apresentou, por processos de simulação da evolução da demanda sob a oferta de transportes, quais deveriam ser os principais investimentos em cenários de médio e longo prazo, estabelecidos de quatro em quatro anos, inicialmente até o ano de 2023, e posteriormente, em sua revisão, até 2031 (MT e MD, 2009).

O PNLT apresentou, então, um “novo” SNV para o Brasil, considerando um significativo investimento no setor ferroviário e hidroviário. Esses investimentos tendem a promover mudanças nos vetores de desenvolvimento e fluxos de transporte de cargas.



Fonte: MT e MD (2007).

**Figura 2.4** – Rede de modelagem de transportes do PNLT – nacional.



Fonte: MT e MD (2007).

**Figura 2.5** – Rede de modelagem de transportes do PNLT – exterior.

Contudo, a integração dos diversos modos de transporte, caracterizados nos portfólios de projetos do PNLТ, não considerou nenhum detalhamento de como tal integração se daria, ou seja, quais os tipos de estruturas e sistemas de integrações modais deveriam ser implantados para efetividade da inter e multimodalidade.

Isso se refere a que mecanismos do Governo Federal deveriam incentivar, apoiar, financiar e inserir em sua Política de Transportes, visando acelerar o processo de funcionamento da inter e multimodalidade, efetuando, assim, medidas que busquem promover significativa redução dos custos das tarifas de transporte, além de otimizar a produção quilométrica dos distintos modos de transporte. Desta forma, para que o sistema viário brasileiro se configure em uma rede multimodal com efetivos ganhos para o desenvolvimento nacional, pela redução dos custos de transporte, cabe ao planejamento desse setor considerar a inserção de metodologias que permitam avaliar como, onde e de que forma as estruturas de integração modal devem ser consideradas no planejamento de transportes.

A proposição de projetos indicados pelo PNLТ direciona os investimentos em infraestrutura de transportes a um equilíbrio da matriz modal de carga, pois visa ampliar a inter e multimodalidade do SNV. Esse processo, iniciado em 2007, com a sua primeira edição, orientou desde então as decisões governamentais de execução de projetos de infraestrutura de transportes. Nesse contexto, o Plano de Aceleração do Crescimento – PAC, tanto em sua primeira como segunda versão, encontrou nas indicações de projetos do PNLТ uma diretriz para concretizar a meta da Política de Transportes, pelo incentivo do transporte multimodal de cargas. As metodologias utilizadas, bem como os resultados e indicações de investimentos do PNLТ, passaram por revisões nos últimos quatro anos, entre outros motivos, para sua adequação às decisões executivas do Governo Federal, quanto aos tipos, práticas, modelos e prioridades de investimentos no setor de logística e transporte.

Contudo, as proposições do PNLТ necessitam de aprimoramento técnico que indiquem formas e procedimentos para que se aperfeiçoe a integração modal no transporte de cargas, considerando atributos de custos das cadeias logísticas dos principais produtos nacionais, visando a otimização e racionalização dos custos de transporte no SNV, e conseqüentemente o equilíbrio da matriz modal de cargas circulantes no Brasil, resultando ainda em menores índices de poluição atmosférica.

Desta forma, a localização, quantificação e avaliação de viabilidade de áreas de integração modal e de serviços logísticos, permite que se reformulem as diretrizes

indicativas de investimentos em infraestrutura de transportes, considerando a inserção de elementos indutores da inter e multimodalidade, orientados sob as metas da Política Nacional de Transportes.

Uma estrutura de integração logística se caracteriza como sendo uma área de serviços logísticos, localizada em um ponto nodal das cadeias de transporte, no qual se obtém contribuições importantes para redução dos custos de transporte e otimização das cadeias de valores, principalmente pela prestação de serviços agregados e por consequência da concentração de cargas que viabilizam, normalmente, o transporte ferroviário e aquaviário. A estrutura de integração logística surge, então, como uma resposta à economia moderna, que exige agilidade e dinamismo em reação ao desempenho das demandas por infraestrutura de transportes, considerando capacidades e padrões operacionais do SNV adequados às necessidades do crescimento econômico, principalmente pela garantia de baixos custos e eficiência na circulação de cargas no território brasileiro.

Para RODRIGUES (2004) essa é a função principal de uma estrutura de integração logística, cujo objetivo é se adequar às necessidades da abrangência desejada e à otimização do transporte de forma global, beneficiando, além dos atores logísticos, a sociedade e suas exigências ambientais e de tráfego. Segundo CHOPRA e MEINDL (2003), a decisão sobre o local mais apropriado para se instalar uma estrutura de integração logística, constitui-se num aspecto fundamental na concepção da estratégia competitiva de uma cadeia de suprimentos. Neste sentido, pode-se centralizar com intuito de obter economias de escala ou descentralizar para tornar a cadeia mais responsiva, diminuindo a distância entre os pontos de suprimento e consumo.

Dessa forma, a especificação de critérios e metodologia de localização das estruturas de integração logística, também denominadas de Centros de Integração Logística – CIL<sup>3</sup> se torna uma premissa fundamental para que o PNLT possa ser aperfeiçoado quanto ao seu arcabouço metodológico, incorporando no seu portfólio de investimentos a construção e/ou requalificação de estruturas capazes de auxiliar na promoção do equilíbrio da matriz modal do País.

---

<sup>3</sup> A questão de classificação e conceito das estruturas de integração logística será tratada no Capítulo 3, onde se propõem, para este trabalho, o uso da nomenclatura Centros de Integração Logística – CIL para os tipos de estruturas de integração logística, a serem definidos, que atendem ao escopo desta Tese.



### **3. PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES E OS CENTROS DE INTEGRAÇÃO LOGÍSTICA**

A motivação desta Tese está diretamente relacionada com o aprimoramento do processo de planejamento de logística e transporte regional multimodal, particularmente no Brasil.

A inserção de novos mecanismos técnicos e metodológicos visando propor um zoneamento logístico de transporte, promove subsídios às tomadas de decisões sobre investimentos nesse setor, permitindo ainda agilizar metas da Política de Transportes, como a ampliação do transporte multimodal e, por consequência, uma melhor distribuição da matriz modal de cargas.

O desenvolvimento do estudo indica que ações públicas ou privadas para implantação de estruturas de integração logística permitem mudanças significativas do funcionamento de sistemas viários de transporte, promovendo efetivos meios de implantação de fluxos multimodais, principalmente por serem facilitadores da integração modal pela redução dos custos de transporte.

Nesse contexto, este Capítulo apresenta as principais descrições pertinentes ao Planejamento de Transportes e às estruturas de integração logística, também denominadas de Centros de Integração Logística – CIL.

#### **3.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES**

##### **3.1.1 Planejamento de Transportes**

Na definição da Associação Nacional de Transporte Público – ANTP (1997), também adotada por MAGALHÃES (2004), planejamento de transporte é a atividade que define a infraestrutura necessária para assegurar a circulação de pessoas e mercadorias e, que organiza os sistemas de transporte que estão sujeitos à regulamentação pública, inclusive a tecnologia e o nível de serviço a ser ofertado.

BARAT (1978), MELLO (1975) *apud* ANDRADE *et al.* (2005) consideram o planejamento de transportes como um conjunto de meios para a consecução de objetivos socioeconômicos mais amplos, sensível às exigências e objetivos externos que surgem da estratégia global definida para o desenvolvimento econômico e condicionada à função econômica de deslocar indivíduos e bens, devendo contemplar:

- Dimensionamento e combinação apropriada das capacidades futuras de prestação de serviços pelas diferentes modalidades;
- Previsão do nível da localização futura da demanda dos serviços de transporte; e
- Escalonamento das prioridades de investimentos que deverão atender ao crescimento de uma demanda total e de demandas específicas por modalidade, projetados para o período do plano.

Em outras palavras, o planejamento de transporte possui como principal objetivo aprimorar o funcionamento dos sistemas de transporte.

Para SETTI e WIDMER (1997) *apud* MAGALHÃES (2004), o sistema de transporte pode ser definido como um conjunto de elementos que tem como função permitir que pessoas e bens se movimentem, e tem como componentes funcionais: os veículos, as vias, os terminais e o plano de operação. Neste contexto, o planejamento de transporte tem como objetivo a circulação em um sistema de transporte, de bens ou de pessoas, visando sempre torná-lo mais eficiente e econômico, tendo como foco principal o constante equilíbrio entre a oferta e demanda de transporte.

A oferta de transporte trata efetivamente dos meios de infraestrutura e serviços de transporte disponíveis em um determinado território, ligando um conjunto de polos distribuídos nesse território, e a demanda consta das necessidades de movimentação por esses meios, de mercadorias e pessoas que se concentram nesses polos. No equilíbrio da oferta e demanda de transporte, o planejamento incorpora ainda a meta de compatibilizar as intervenções necessárias com o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade ambiental. Dessa forma, o planejamento da circulação de bens e pessoas se efetua sob um sistema de transporte, distribuído em um determinado território, formado por vias, veículos e pontos de conexão entre essas vias, sendo que alguns desses pontos são elos importantes de ligação e transferência da circulação entre vias distintas e principalmente, entre diferentes modos de transporte.

Destacam-se entre esses pontos aqueles que possuem as características de concentração de cargas, e particularmente as estruturas de integração logística, ou como serão caracterizados neste capítulo, os Centros de Integração Logística – CIL.

Um conjunto de estruturas de integração logística, distribuídas em um território como elementos de um sistema de transporte, definem um zoneamento logístico. A definição deste zoneamento é um dos elementos do planejamento de transportes.

### 3.1.2 Centro de Integração Logística – CIL

Associado ao planejamento de logística e de transporte pode-se inserir o conceito de Centro de Integração Logística – CIL, uma estrutura de integração logística, ou plataforma terrestre, caracterizada pela oferta de serviços que buscam promover a otimização do transporte de mercadorias. Um CIL pode ser também tratado como uma Plataforma Logística, dependendo do seu nível de especialização e serviços.

Com a compreensão físico-espacial dos pontos de origem e destino das mercadorias, por exemplo, uma Plataforma Logística é o local de eficiência logística, acolhendo empreendimentos e infraestruturas de transporte e armazenagem, melhorando a competitividade, viabilizando as atividades logísticas, desburocratizando e agilizando as operações aduaneiras (DUARTE, 2004).

Segundo o Ministério de Fomento da Espanha – MFE (1999), as Plataformas Logísticas são pontos ou áreas de ligação das cadeias de transporte e logística nas quais se concentram atividades e funções técnicas de valor acrescentado. GALLONI (2000) apresenta a definição estabelecida pela *Europlatforms* (Associação Européia de Plataformas Logísticas) em 1992: “*É uma zona delimitada, no interior da qual se exercem, por diferentes operadores, todas as atividades relativas ao transporte, a logística e a distribuição de mercadorias, para no trânsito nacional como no internacional*”.

Os operadores constam de proprietários, arrendatários dos prédios, equipamentos e instalações (armazéns, áreas de estocagem, escritórios, estacionamentos, etc.) construídos na plataforma, que deve ter um regime de livre concorrência, para todas as empresas interessadas pelas atividades, e ser gerida por uma entidade única, pública ou privada (DUARTE, 2003).

Segundo DUARTE (1999), é muito importante, no planejamento de transportes, uma análise da situação geográfica da região onde se insere uma Plataforma Logística. Deve-se analisar como ela está inserida nas relações comerciais regionais, nacionais e internacionais da região em questão, sendo necessário conhecer se a mesma oferece um meio social, ambiental e econômico favorável (bancos, sociedades comerciais e de negócios, atrações turísticas e culturais, hotéis, restaurantes, etc.) e também, se apresenta interligações com grandes eixos de transporte necessários para a promoção da Plataforma Logística, tais como: ligações terrestres (rodovias e ferrovias), acessos marítimos, fluviais e aéreos.

A organização de uma determinada área, para torná-la uma Plataforma Logística, requer investimentos de dois tipos, conforme analisa COLIN (1996):

- Os investimentos de caráter logístico orientados para acolher atividades que valorizem a circulação de mercadorias e integrem o mercado (produção final, gestão de estoques, acondicionamento, etiquetagem etc.); e
- Os investimentos de caráter cinético para melhorar a circulação de mercadorias, acelerando e regulando os fluxos de transporte, a qualidade da infraestrutura e a localização geográfica dos terminais.

Uma Plataforma Logística carece de estrutura de informação e transporte, responsável pela conexão de todos os agentes logísticos regionais que compõem o macrossistema por ela formado, bem como uma adequação tributária visando que os produtos e serviços circulem sem bi-tributação e principalmente excesso de taxas e impostos computados sobre as operações de transporte entre origem e destino (DUARTE, 2004). Segundo BOUDOUIN (1996), uma plataforma logística é composta de três subzonas com funções especiais:

- **Subzona de serviços gerais:** áreas que englobam recepção, informação, acomodação e alimentação, bancos, agência de viagens de estacionamento, abastecimento e reparos, serviços de alfândega, administração e comunicação;
- **Subzona de transportes:** que agrupa infraestruturas de grandes eixos de transporte. É muito importante que a plataforma seja multimodal e possua terminais multimodais, integrando transportes rodoviários, ferroviários, marítimos e aéreos; e
- **Subzona destinada aos operadores logísticos:** dando condições de prestar serviços de fretamento, corretagem, assessoria comercial e aduaneira, aluguel de equipamentos, armazenagem, transporte e distribuição.

Um conjunto de plataformas logísticas próximas regionalmente e dotadas de porto e aeroporto internacional com função de *hubs* (concentradores) e com os respectivos centros de cargas é denominado de “placas logísticas” (DUARTE, 1999). De acordo com a *EUROPLATFORMS* (2004), na Europa, as plataformas logísticas têm diferentes denominações e são áreas destinadas ao transporte, à logística e à distribuição de mercadorias, nacionais e importadas, que são consolidadas e desconsolidadas por vários operadores logísticos.

A Plataforma Logística é classificada no Brasil como Centro Logístico de Integração – CLI ou também, Centro de Integração Logística – CIL (DUBKE *et al.*, 2004). Segundo o autor, o CLI no Brasil foi inicialmente idealizado pela Secretaria Estadual de Transportes do Estado de São Paulo dentro do Plano Diretor de Desenvolvimento de Transportes – PDDT para o período de 2000/2020.

O PDDT situa o CLI como elemento vital do complexo de transportes que atende a vários objetivos públicos, como por exemplo, facilitar as transferências rodoviário-ferroviárias, impulsionando a intermodalidade. Objetiva-se ainda realizar neste centro:

- Operações de consolidação e desconsolidação de contêineres, racionalização da coleta e distribuição de cargas na Região Metropolitana de São Paulo – RMSP, por meio do uso de caminhões menores trafegando a distâncias também menores; e
- Prover serviços logísticos, especialmente espaços de estocagem rápida que otimizem as funções de concentração/distribuição para empresas industriais, inclusive de transporte de encomendas.

Naquilo que se refere à classificação e características das Plataformas Logísticas, DIAS (2005) *apud* BACOVIS (2007) ressalta que, de acordo com a Associação Européia de Plataformas Logísticas – *Europlatforms*, existem infraestruturas deste tipo com um só modo de transporte, unimodais, ou com mais do que um modo, multimodais – aquela em que abriga vários modos de transporte (rodoviário, ferroviário, fluvial, marítimo e aéreo), não implicando necessariamente no intercâmbio direto entre eles, ou seja, a existência da intermodalidade.

Para o autor, as plataformas unimodais são: os Centros ou Terminais Rodoviários, os Centros de Distribuição Urbana, os Parques de Distribuição e os Centros de Transportes.

Quanto às Plataformas Logísticas Multimodais, de acordo com os conceitos da *Europlatforms* apresentados em SPRICIGO e SILVA (2011), as estruturas conhecidas nesta tipologia são:

- **Zona de Atividade Logística Portuária - ZAL:** Plataformas Logísticas agregadas a portos e situadas adjacientemente a terminais marítimos de contêineres. O desenvolvimento destas plataformas permite um aumento do alcance portuário, enquanto área de influência e atratividade. São exemplos de

ZAL: Roterdã, Barcelona, Valença, Algeciras e Sines;

- **Centros ou Terminais de Carga Aérea:** especializadas no intercâmbio ar/terra no que diz respeito ao tratamento de mercadorias. A prestação dos serviços logísticos neste tipo de plataforma ocorre de forma sequencial: primeiramente é tratada a carga geral e, em seguida, é feito o tratamento das atividades de prestação de serviços adicionais ao despacho da carga. São exemplos, na Europa: Paris-Orly, Frankfurt, Amsterdã-Schiphol e Madri-Barajas; e
- **Portos Secos (*Dry Ports*):** é um tipo de terminal multimodal, situado no interior de um país (zona secundária) e que permite efetuar a ligação entre um porto e a respectiva origem e/ou destino. Possuem zona multimodal e incluem no seu interior outras áreas funcionais, como área de serviços aduaneiros. No Brasil já existem vários portos secos, também conhecidos por EADI – Estação Aduaneira do Interior. Estas zonas e plataformas se desenvolveram para acolher depósitos e plataformas de embarque de mercadorias de alguns atores da atividade econômica, também chamados atores logísticos, particularmente os industriais, distribuidores, transportadores e prestadores de serviços.

Segundo ROMERO (2006), conforme estudo apresentado pela Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento do Governo do Estado de Goiás, no Brasil, o funcionamento de Plataformas Logísticas Multimodais, deve oferecer os seguintes benefícios aos seus usuários:

- Competitividade: otimização do tráfego de cargas e redução dos custos operacionais;
- Flexibilidade: logística integrada para atender as exigências dos clientes finais;
- Confiabilidade: serviços diversificados e tecnologia de informação; e
- Mão de obra especializada.

Nesse contexto, e considerando a importância dos sistemas integrados de transportes, segundo ROSA (2004a), uma Plataforma Logística pode ser considerada como a área de serviços logísticos localizada em um ponto nodal das cadeias de transporte e de logística, no qual se obtenham contribuições importantes na cadeia de valor, por meio de prestações de serviços de valor agregado, quer seja através de rede de transporte, rede de telecomunicações ou apenas por intermédio de serviços

pontuais à mercadoria, às pessoas (clientes, usuários, trabalhadores, etc.), aos veículos e equipamento.

De acordo com ANTÚN *et al.* (2000), as Plataformas Logísticas classificam-se em seis tipos, listadas a seguir em ordem decrescente de abrangência de atividades desenvolvidas e de serviços prestados:

- **Zona de Atividade Logística – ZAL:** caracterizada por estar em um centro de transporte com infraestrutura intermodal relevante e deve ter características de *gateway*<sup>4</sup> e *hub*<sup>5</sup>;
- **Centro Integrado de Mercadorias – CIM:** orientado a retirar o transporte rodoviário do centro das cidades para a periferia, onde existe um acesso fácil para as rodovias;
- **Centro de Serviços de Transporte e Logística – CSTL:** orientado para o melhoramento da competitividade logística de um setor industrial específico;
- **Plataforma Logística de Troca de Transporte – PLT:** permite fracionar cargas maiores com destino ao mercado local em tamanhos compatíveis com o transporte local urbano;
- **Suporte Logístico Corporativo de Plataforma – SLCP:** possui instalações para distribuição de grandes empresas ou de distribuição comercial; e
- **Microplataforma Logística Urbana – MLU:** permite realizar distribuição de produtos em uma zona urbana com acesso restrito (horário ou tamanho de veículos).

O objetivo de cada um desses tipos de plataformas é se adequar às necessidades da abrangência desejada e à otimização do transporte de forma global, beneficiando, além dos atores logísticos, a sociedade e suas exigências ambientais e de tráfego. Observa-se que diferentes autores (BOUDOUIN, 1996; COLIN, 1996; DUARTE, 1999, 2003, 2004; MFE, 1999; GALLONI, 2000, ANTÚN *et al.*, 2000; DUBKE *et al.*, 2004; EUROPLATAFORMS, 2004; ROSA, 2004b, DIAS, 2005; ROMERO, 2006; STRAUSS-WIEDER, 2008; SPRICIGO e SILVA, 2011) caracterizam as estruturas de integração logística, Centros de Logística Integrada – CLI, e mais especificamente as Plataformas

---

<sup>4</sup> *Gateway:* nó onde se reúnem cargas provenientes de várias localidades para um destino comum.

<sup>5</sup> *Hub:* ponto de partida e de chegada para distribuição em uma determinada área geográfica.

Logísticas, de formas diferentes, sendo que alguns indicam diferentes nomenclaturas em função das características de operação e especialização das mesmas.

No Projeto RumoS 2015 – Estudo sobre Desenvolvimento Regional e Logística de Transportes no Rio Grande do Sul (SEPLAG/RS, 2005), no seu Componente 2 – Logística de Transportes, as estruturas de integração logística terrestres são tratadas sob a denominação de Plataformas Terrestres, e as Plataformas Logísticas são tratadas como um tipo mais avançado destas.

O estudo apresentado pela SEPLAG/RS (2005) parte da revisão das diversas classificações de Plataformas Terrestres, Centros de Logística Integrada e de Plataformas Logísticas encontradas na literatura, cada um elegendo um ponto de vista alternativo, para, ao final, apresentar uma classificação que, ao mesmo tempo em que é simples, é de fácil aplicação, mas contendo elementos importantes para que se possam diferenciá-las. Na sequência são apresentadas algumas classificações encontradas na literatura a proposta de classificação adotada por SEPLAG/RS (2005).

**A) Classificação segundo o grau de integração dos “stakeholders” (COLIN, 1996):**

- **Centro Logístico:** um local fisicamente bem delimitado no qual opera uma única empresa;
- **Zona Logística:** é um espaço também delimitado, mas que oferece aos diversos participantes uma infraestrutura de apoio organizada comum. Uma zona logística agrupa sempre diversos sítios logísticos;
- **Plataforma Logística:** é uma zona logística com finalidade mais específica e governada por uma única entidade pública ou privada; e
- **Polo Logístico:** é um espaço geograficamente não delimitado com precisão, algumas vezes bastante extenso, que apresenta uma concentração de atividades logísticas.

**B) Classificação segundo a função e o tamanho da instalação (BOOZ ALLEN HAMILTON, 2004):**

- **Centro de Serviços:** centros intramodais (normalmente rodoviários) com serviços de apoio a transportadoras, motoristas e veículos, opera com demanda mínima de três milhões ton./ano;
- **Centro Logístico:** centros de distribuição e armazenagem, unimodais ou



intermodais, com ou sem serviços de agregação de valor ao produto, opera com demanda superior a 10 milhões ton./ano;

- **Centro Logístico Integrado:** centro logístico envolvendo a integração de duas ou mais modalidades de transporte, opera com demanda superior a 10 milhões de ton./ano; e
- **Plataforma Logística:** centro logístico integrado com infraestrutura tecnológica para integração de informações logísticas, bem como com potencial de prestação de serviços de agregação de valor ao produto, opera com demanda superior a 30 milhões de ton./ano ou com elevada participação de produtos de alto valor agregado;

**C) Classificação segundo o fluxo e a agregação de valor (POSCHET *et al.*, 2000):**

- **Plataforma de Trânsito:** prevalecem operações de triagem e trânsito, com pouca estocagem;
- **Plataforma de Armazenagem:** operações de armazenagem dependendo das características dos produtos;
- **Plataforma de Agregação de Valor ao Produto:** rotulagem, embalagem, montagem, etc. Em francês, plataformas com “*rupture de charge*”;

**D) Classificação segundo a organização espacial dentro do território (POSCHET *et al.*, 2000):**

- **Dispersas:** plataformas isoladas, sem uma relação clara com a organização espacial;
- **Pontuais:** localizadas próximas a aglomerações de médio porte, sem fortes ligações com tráfego de importação e exportação;
- **Alinhadas:** localizadas ao longo de corredores de transporte importantes;
- **Polarizadas:** concentração de tipos diferentes de plataformas ou zonas logísticas, dentro ou fora de centro urbanos.

No Quadro 3.1 é apresentada a classificação de POSCHET *et al.* (2000) em maior detalhe.

**Quadro 3.1** – Classificação segundo o fluxo e a agregação de valor.

Tipo	Trânsito	Armazenagem	Alteração de Conteúdo do Produto (Montagem, Embalagem, Rotulagem, etc.)
Área	Cerca de 1000 a 3000 m <sup>2</sup> , e menos para encomendas e pacotes	Muito variável e dependendo das características dos produtos -- de 2000 m <sup>2</sup> a cerca de 30.000 m <sup>2</sup>	Cerca de 10.000 m <sup>2</sup> a 30.000 m <sup>2</sup>
Tráfego	Tráfego elevado por m <sup>2</sup> ; de 30 a 100 t/ m <sup>2</sup> /ano	Menos tráfego por m <sup>2</sup> : de 3 a 10 t/m <sup>2</sup> e por ano	Menos tráfego por m <sup>2</sup> : de 3 a 10 t/ m <sup>2</sup> e por ano
Localização	Em locais estratégicos, nas aglomerações urbanas e perto delas	Em áreas de baixo preço, fora das aglomerações urbanas	Em áreas de baixo preço, fora das aglomerações urbanas
Emprego	Poucos empregos em geral, mas uma boa concentração de atividades de depósito (cerca de 100 m <sup>2</sup> / empregado)	Poucos empregos: de 500 m <sup>2</sup> a mais de 1.500 m <sup>2</sup> por empregado	Cerca de 300 m <sup>2</sup> a 600 m <sup>2</sup> por empregado
Tipos de empresas na plataforma	Basicamente transportadoras rodoviárias e de carga fracionada - também agentes de despacho	Transportadores rodoviários, agentes de despacho, portos livres, indústrias, armazéns, silos, etc.	3PLs, indústrias, etc.

Fonte: Adaptado de POSCHET *et al.* (2000).

### E) Classificação proposta no Projeto RumoS 2015 (SEPLAG/RS, 2005)

Duas dimensões adicionais são evidenciadas no desenvolvimento da tipologia proposta para plataformas terrestres no referido estudo. Em primeiro lugar, em função das possibilidades de integração intermodal existentes, incorporando uma característica segundo as principais situações observadas na prática:

- **Intramodal:** voltadas à consolidação da carga e integração de serviços dentro de um mesmo modo (exemplo: plataforma rodoviária, EDI modal, etc.);
- **Intermodal forçada:** por exemplo, portos e aeroportos internacionais, em que a transferência da carga entre modos não se faz espontaneamente, mas é função da inexistência de um modo único que pudesse executar toda a operação;
- **Intermodal espontânea:** cuja característica intermodal não é mandatária, mas depende apenas do cotejo dos benefícios esperados e da iniciativa de uma ou mais entidades públicas ou privadas. Por exemplo, um terminal de integração

intermodal rodo-ferroviário.

Em segundo lugar, em função da grande importância do uso da informação nas modernas plataformas terrestres, esse componente foi também considerado na classificação proposta, a saber:

- **Informatização nível 0:** com atividades de natureza físico-operacional e informatização cobrindo apenas as atividades burocráticas;
- **Informatização nível 1:** todas as operações do terminal são informatizadas, desde a chegada dos veículos e suas cargas ao terminal, até sua saída;
- **Informatização nível 2:** além das características do nível 1, o sistema informacional da plataforma logística atinge, para trás, os embarcadores e agentes e, para frente, os clientes que receberão as mercadorias, num processo dinâmico;
- **Informatização nível 3:** além das características do nível 2, o sistema informacional da plataforma logística estará integrado estrategicamente com o(s) canal(ais) mercadológico(s) ao(s) qual(ais) está associado.

Assim, a proposta de tipologia de Plataformas Terrestres apresentada em SEPLAG/RS (2005), partiu da classificação adotada pela BOOZ ALLEN HAMILTON (2004), excluindo o critério de demanda e incorporando algumas proposições de POSCHET *et al.* (2000) – apresentadas no Quadro 3.1, além dos critérios supramencionados de intermodalidade e estrutura informacional. O Quadro 3.2 apresenta em maior detalhe esta proposta de tipologia/classificação de plataformas terrestres.

Na literatura há um número bastante grande de estruturas de integração logística ou Plataformas Terrestres, com finalidades e operações diversas, e que também se auto denominam de várias maneiras: Plataformas Logísticas, Terminais Intermodais, *Freight Villages*, etc. Contudo, neste contexto, são as Plataformas Intermodais que podem auxiliar aos decisores na seleção de uma melhor opção de transporte, seja um único modo ou a combinação de diferentes modos, a fim de diminuir os custos logísticos e manter os níveis de serviços de logística (CAMBRA-FIERRO e RUIZ-BENITEZ, 2009).

Desta forma, dentro do direcionamento nitidamente estratégico de um plano governamental de investimentos, como o PNLT, que visa a redução dos custos logísticos e de transporte, pelo incentivo ao transporte inter e multimodal de cargas, o foco da análise

deve estar concentrado nas estruturas que atendem aos tipos mais sofisticados apresentados no Quadro 3.2, ou seja, os Centros Logísticos Integrados e as Plataformas Logísticas.

**Quadro 3.2 – Classificação segundo o fluxo e a agregação de valor.**

<b>Tipo</b>	<b>Descrição/Funções</b>	<b>Crterios de Classificação</b>
Centro de Serviços (I)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Centro intramodal (normalmente rodoviário) com serviços de apoio a transportadoras, motoristas e veículos;</li> <li>- Capacidade de agregar players no mercado de transportes – p.ex. “central de frete”;</li> <li>- Centro com áreas de serviços de transporte especializados (ex: atendimento cargas perigosas);</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localização próxima de rodovia de grande circulação;</li> <li>- Prevaecem as operações de triagem e trânsito;</li> <li>- Em alguns casos, pode incluir operações intermodais forçadas;</li> <li>- Nível de informatização baixo (nível 0 ou 1);</li> </ul>
Centro Logístico (II)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Centro com funções adicionais às de transporte, normalmente incluindo armazenagem e distribuição;</li> <li>- Serviços de agregação de valor a produtos específicos;</li> <li>- Distribuição de carga urbana;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localização próxima de rodovia de grande circulação;</li> <li>- Proximidade a centros urbanos;</li> <li>- Existência de circulação de produtos com possibilidade de agregação de valor;</li> <li>- Nível de informatização baixo (nível 0 ou 1);</li> </ul>
Centro Logístico Integrado (III)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intramodal: voltados à consolidação da carga e integração de serviços dentro de um mesmo modo (plataforma de integração rodoviária, Portos Secos ou EADIs, etc.);</li> <li>- Intermodal: envolvendo rodovia com ferrovia, com transporte hidroviário, etc.;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localização próxima à rodovia de grande circulação;</li> <li>- Proximidade a centros urbanos;</li> <li>- Em alguns casos, pode incluir operações intermodais forçadas;</li> <li>- Existência de circulação de produtos com possibilidade de agregação de valor;</li> <li>- Existência de ligações viárias por mais de um modo de transporte;</li> </ul>
Plataforma Logística (IV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Centro logístico multimodal, incluindo preferencialmente um porto ou aeroporto, possuindo potencial para agregação de valor para produtos específicos, e provendo serviços aduaneiros, além das funções dos outros tipos de centros logísticos;</li> <li>- Centro com possibilidades de prover uma infraestrutura tecnológica para integração de informações logísticas e mercadológicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localização próxima de rodovia de grande circulação;</li> <li>- Proximidade a centros urbanos;</li> <li>- Existência de circulação de produtos com possibilidade de agregação de valor;</li> <li>- Existência de ligações viárias por mais de um modo de transporte;</li> <li>- Governança única voltada a um objetivo pró-ativo mercadológico comum.</li> </ul>

Fonte: SEPLAG/RS (2005).

Dentre os dois tipos apresentados por SEPLAG/RS (2005) que tratam do transporte inter e multimodal, e apresentados no Quadro 3.2, a Plataforma Logística se destaca por características de agregação de valor às cargas e estrutura tecnológica de integração de informações. Já o Centro Logístico Integrado requer menos especialização das operações, sendo uma estrutura mais simples e, portanto de menor custo de implantação, atingindo de maneira similar à função de integração logística necessária para promoção de melhorias na infraestrutura de transportes do Brasil.

A partir deste ponto, para fins de uniformização da nomenclatura e melhor compreensão dos conceitos que são tratados ao longo desta Tese, se utiliza a denominação “Centro de Integração Logística – CIL” para tratar de forma única os dois tipos de estruturas de integração logística, ou Plataformas Terrestres, destacados, pois ambos atendem aos objetivos propostos aqui, independente do nível de especialização que cada um possa apresentar. Assim, um CIL fica caracterizado por todos os conceitos, definições e considerações técnicas descritas anteriormente.

Com base no contexto exposto, para o funcionamento e a eficiência do transporte multimodal, o CIL apresenta-se como um mecanismo indispensável, principalmente em territórios com dimensões continentais, como no caso do Brasil. Evoluindo junto com os sistemas de transporte, a implantação e operação de CIL é um elemento indispensável para o planejamento estratégico de logística e transporte.

### **3.2 A EVOLUÇÃO DO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DE LOGÍSTICA E TRANSPORTES NO BRASIL**

O desenvolvimento e a evolução do planejamento estratégico de logística e transporte no Brasil acompanharam de forma direta os ciclos políticos e econômicos mundiais. Nos quase 500 anos em que se completou o processo de plena ocupação e integração do espaço nacional, a construção de uma rede unificada de transportes foi apresentada sempre como a única forma de assegurar a integridade do território<sup>6</sup>.

Somente após a Independência começou a se manifestar explicitamente no Brasil a preocupação com o isolamento das regiões do País como um obstáculo ao desenvolvimento econômico (GALVÃO, 1996). Assim, a partir do primeiro Império a noção sobre a importância de um planejamento de integração territorial foi fortalecida, surgindo assim, ao longo do século XIX, propostas para o transporte nacional brasileiro com visão sistêmica de longo prazo.

Nesse contexto, percebe-se que desde o Império, a adoção de planos de viação foi uma preocupação de muitas personalidades, embora a história tivesse de esperar até

---

<sup>6</sup> Já nos primórdios do período colonial, o governo português estabelecia, nos contratos de doação de sesmarias, uma cláusula que tornava obrigatória para os sesmeiros a construção de estradas dentro dos limites de suas propriedades. Nos séculos seguintes, Portugal fez constantes apelos às autoridades coloniais no Brasil para a construção de uma estrada de terra ligando o Sul ao Norte do país. O objetivo dessa estrada era o de fornecer um meio alternativo de comunicação entre as várias províncias brasileiras, em caso de um bloqueio marítimo por alguma potência estrangeira (Galvão, 1996).

o início da República para que o Estado brasileiro tomasse alguma iniciativa com vistas a preparar planos. Após a frustração com relação ao primeiro plano geral, fruto de uma comissão composta em 1890 (GALVÃO, 1996), continuou-se a adotar programas independentes para cada modo de transporte, e somente em 1934 o país adotou formalmente um Plano Geral da Viação Nacional, aprovado pelo Decreto nº 24.497, de 29 de junho de 1934.

Dessa forma, pode-se concluir que o primeiro fato marcante para os sistemas de transporte do Brasil foi a assinatura da Carta Régia de 1808 pelo Príncipe Regente D. João VI, abrindo os portos para as nações amigas. Os portos, por sua vez, nessa época, eram os principais centros logísticos do Brasil. A partir dessa data, pode-se resumir a evolução histórica do planejamento de logística e transporte do Brasil que se estrutura por alguns marcos institucionais. Conforme textos adaptados e transcritos das referências bibliográficas, como SANTOS e KAISER (2008), SANDOVAL (S/D) e GALVÃO (1996), entre outras analisadas para fins dessa Tese, destacam-se alguns marcos históricos e institucionais durante o Primeiro e Segundo Império: Plano Rebelo, em 1838, que idealizava a construção de três estradas reais; Plano Moraes, em 1869, que trazia um esboço de rede geral de vias navegáveis; Plano Ramos de Queiroz, em 1874/1882, que considerou o aproveitamento do Rio São Francisco, a organização de redes de comunicação ferroviárias, e no seu aprimoramento em 1882, o estabelecimento de uma artéria central Leste-Oeste.

Além dos citados, o Plano Rebouças, em 1874, que considerou o Brasil com a forma triangular, com a base no Rio Amazonas e tendo como vértices o litoral e a fronteira, linhas ferroviárias transversais paralelas à base na direção Leste-Oeste e linhas auxiliares ligando às principais transversais; Plano Bicalho, em 1881, com ênfase às ferrovias e navegação fluvial; Plano Bulhão, em 1882, que priorizou também o modo fluvial e o ferroviário; e o Plano Geral de Viação, em 1886, que propunha a construção de novas ferrovias de modo a permitir o acesso ao interior do país com a integração dos modos fluvial e ferroviário.

Destacava-se na época que era necessário se preocupar sobre a própria viabilidade de se construir e manter vias de comunicações sem a existência de fluxo correspondente de cargas (GALVÃO, 1996).

Após a proclamação da República, ocorreu uma revisão dos planos citados, particularmente do Plano Geral de Viação de 1886. Assim, entre 1889 e 1930, até o Governo de Getúlio Vargas, têm-se os seguintes marcos institucionais: Plano da Comissão de 1890, que estabelecia as competências federais e estaduais no transporte ferroviário e fluvial, prevendo futuras ligações destes modos; o Artigo 13º da Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil de 1891, que estabeleceu que a navegação de cabotagem seria feita por navios nacionais e que competia ao Congresso Nacional legislar sobre a navegação dos rios que banhem mais de um estado; a Lei nº 4.859/1903, que estabeleceu um novo regime para a execução das obras e exploração de portos; a criação, em 1911 do órgão central para o planejamento dos transportes nacional, a Inspeção Federal de Estradas – IFE, com o objetivo de fiscalizar todos os serviços relacionados às explorações e construções ferroviárias e rodoviárias, excetuadas aquelas sob a administração direta da União (nessa época, o transporte era majoritariamente ferroviário).

Destacam-se ainda, o Plano de Viação Férrea de 1912, que previa a integração ferroviária para o Vale do Amazonas; em 1921, a IFE passou a incorporar outras funções, mais ligadas ao planejamento da viação terrestre, superintendência das administrações federais das estradas de ferro de propriedade da União, bem como a fiscalização das empresas arrendadas ou concedidas pelo Governo Federal; e o Plano Catrambi, entre 1926-1930, que estabeleceu as bases da Rede Rodoviária do Brasil, o primeiro do gênero.

Além desses planos devem ser destacados o de Luis Schoor em 1927, o da Comissão de Estradas de Rodagens Federais – CERF, em 1927, e o Plano Rodoviário do Nordeste de 1930. Nenhum desses planos, contudo, recebeu aprovação oficial (MT, 1974; GALVÃO, 1996).

Assim, com o início do Governo de Getúlio Vargas, em 1934, um plano geral de viação nacional foi finalmente aprovado pelo governo, contemplando todas as modalidades de transporte.

Cabe destacar que a precedência ainda era conferida à cabotagem e à navegação fluvial sobre as rodovias, e prioridade total era dada às ferrovias, estas últimas vistas pela comissão encarregada da elaboração do plano como a única modalidade de transporte que poderia satisfazer como solução definitiva no estabelecimento dos grandes troncos da viação nacional (MT, 1974).

Entre os anos de 1931 e 1963, o Plano Geral Nacional de Viação – PGNV de 1934 se destaca como primeiro projeto nacional para os transportes aprovado oficialmente, apesar de ainda ter uma grande influência dos anteriores. Era de natureza multimodal, indicando preferência à cabotagem e navegação de interior, contudo, observa-se o início das tendências do governo à modalidade rodoviária.

Em 1946, o Engenheiro Maurício Joppert da Silva, então Ministro da Viação e Obras Públicas, formou uma Comissão para rever o PGNV de 1934, cujo intuito seria a elaboração de um novo plano, com uma abordagem multimodal. Em 1947, foi tentada a criação do Plano Nacional de Viação Fluvial; e em 1956, com o grande número de marchas e contramarchas do processo de revisão do PGNV/1934, o Governo Juscelino Kubitschek, tendo em vista a urgência do seu Programa de Metas, solicitou e obteve a aprovação por Lei, como que a título provisório, de relações descritivas de um Plano Rodoviário Nacional e de um Plano Ferroviário Nacional (Lei nº 2.975/1956).

Do contexto anterior, pode-se dizer que o a revisão do PGNV/1934, elaborada pela Comissão criada pelo Ministro Joppert, foi encaminhada para aprovação em 1948, e transformou-se no Plano de Viação de 1951, composto pelos sistemas ferroviário, rodoviário, fluvial, marítimo e o novo modo de transporte aeroviário (SANDOVAL, S/D).

O Plano Nacional de Viação – PNV de 1951 veio, portanto, encerrar com as controvérsias sobre as prioridades de modalidades de transporte no Brasil. O texto do plano claramente especificava que as rodovias, a partir de então, passariam a assumir a “*função pioneira, outrora exclusiva das estradas de ferro, e que o desenvolvimento da rede ferroviária seria, em grande parte, substituído por estradas de rodagem*” (MT, 1974).

Esse aspecto relaciona-se, com efeito, a um período econômico do Brasil com uma deficiente distribuição de renda, uma baixa renda *per capita*, uma excessiva concentração dessa renda e da riqueza nacional em determinadas classes sociais, e um reduzido mercado interno que resultavam em pequena densidade de tráfego por unidade de área, fazendo com que o transporte rodoviário fosse praticamente o único viável dentre as várias modalidades de transporte (GALVÃO, 1996).

A partir do Regime Militar, que governou o Brasil entre 1964 a 1985, novas diretrizes de planejamento foram dadas ao setor de transporte no Brasil. Destacam-se entre as principais ações, no período entre 1964 e 1985: um novo PNV instituído em 1964, já com as prioridades de integração do país a partir de Brasília e de garantia do



escoamento da produção. Por ato do Poder Executivo, pela Lei nº 5.862, de 12 de dezembro de 1972 foi criada a empresa pública denominada Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO, que passou a desempenhar relevante papel no planejamento, execução e gerenciamento de aeroportos nacionais; e em 1973, por meio da Lei nº 5.917, foi concebido e aprovado o Plano Nacional de Viação – PNV.

Cabe destacar ainda que, um dos pontos importantes na renovação dos meios de produção e desenvolvimento institucional, visando o planejamento logístico e de transporte no Brasil, ocorreu pela criação do Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes – GEIPOT. Com a edição do Decreto nº 57.003, de 11 de outubro de 1965, instituiu-se o GEIPOT, com sua direção superior formada pelo Ministro da Viação e Obras Públicas, Ministro de Estado da Fazenda, Ministro Extraordinário para o Planejamento e Coordenação Econômica e pelo Chefe do Estado Maior das Forças Armadas, conforme acordo de Assistência Técnica firmada no mesmo ano da edição da citada Lei, entre o governo brasileiro e o Banco Internacional para a Reconstrução e Desenvolvimento – BIRD.

Com o GEIPOT, o planejamento de transportes no Brasil ganhou uma nova concepção, modificando os seus métodos de avaliação. Com o seu funcionamento, os estudos técnicos em subsídio à Política de Transportes passaram a apresentar planos que considerassem a visão sistêmica multimodal, avaliando-se aquilo que fora alertado por Ramos de Queiroz, ou seja, a viabilidade econômica dos investimentos públicos no setor de transporte.

Assim, o GEIPOT, juntamente com o Ministério dos Transportes – MT produziu diversos estudos visando o aprimoramento do planejamento estratégico da logística e do transporte no Brasil. Essa instituição atuou durante todo o período do Governo Militar, estendendo sua prática em prol dos Governos que vieram a partir de 1985, até a sua extinção em 2001.

Entre 1985 e 2000, a primeira ação tipicamente identificada com o processo de planejamento de transportes de forma sistemática, promovida no âmbito do Ministério dos Transportes, foi o Programa de Desenvolvimento do Setor de Transportes – PRODEST de 1986, para um horizonte quadrianual, objetivando o “*desenvolvimento harmônico e integrado das várias modalidades de transporte, de forma a atender à demanda, ao menor custo econômico e social para o País*” (GEIPOT, 1987).

Na reforma constitucional brasileira ocorrida no início dos anos 90, foi instituído o Plano Plurianual de Investimentos – PPA como principal instrumento de planejamento do governo brasileiro.

No período de 1996/1999, instituiu-se o Programa “*Brasil em Ação*”, composto por 42 projetos, sendo 26 na área de infraestrutura e 16 na área de desenvolvimento social, com objetivo de identificar um conjunto de empreendimentos estratégicos para promover a integração e o desenvolvimento do Brasil como um todo (BRAGA, 2008).

Durante a implantação do Programa “*Brasil em Ação*”, o Governo Federal desse período estabeleceu como uma medida da Política de Transporte Nacional a transferência da manutenção de uma parcela da infraestrutura de transportes terrestre (rodovia e ferrovia) para a iniciativa privada, como também o funcionamento dos portos marítimos públicos, neste caso pela Lei nº 8.630, de 25 de fevereiro de 1993.

Em 1998, teve início o Estudo dos Eixos Nacionais de Integração e Desenvolvimento, coordenado pelo BNDES em conjunto com o Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão e realizado pelo “*Consórcio Brasileira*”, concebido como instrumento de integração e de redução dos desequilíbrios espaciais, fazendo uma nova redivisão do território brasileiro, constituindo-se numa nova estratégia de desenvolvimento espacial, diferenciada do contexto político administrativo até então vigente (BNDES, 2000).

No âmbito do setor de transportes o Estudo dos Eixos Nacionais de Integração e Desenvolvimento considerou a inter e multimodalidade, e todas as modalidades de transporte: rodoviário, ferroviário, dutoviário, hidroviário (incluindo navegação interior e cabotagem) e terminais portuários, de armazenagem e aeroportuários, sendo que as escalas dos projetos de rodovias e ferrovias resultaram de simulações que identificaram os gargalos e elos complementares (BRAGA, 2008).

Na sequência e com a essência do Estudo dos Eixos Nacionais de Integração e Desenvolvimento foi elaborado o PPA de 2000-2003 com o título de “*Avança Brasil*” que teve como principal meta o crescimento econômico e a redução dos desequilíbrios regionais da população e renda, destacando o sistema de transporte como indutor da integração regional em um país de dimensões continentais como o Brasil (BNDES, 2000).

Conforme ressalta BRAGA (2008), outros importantes estudos, tais como: “*Propostas para Adequação da Infraestrutura e Racionalização do Transporte de*

*Granéis Agrícolas*” (GEIPOT, 1987), “*Corredores de Exportação*” (GEIPOT, 1999), “*Análise de Rotas Alternativas para escoamento da Produção de Soja no Brasil*” (GEIPOT, 2001), além dos descritos anteriormente, contribuíram metodologicamente para o planejamento estratégico dos transportes na década de 90, influenciando todos os estudos e pesquisas que seriam desenvolvidos durante a primeira década do século XXI, principalmente pelos setores do Governo Federal do Brasil. Cabe destacar que durante a década de 1990 ocorreu um significativo avanço na aplicação de metodologias de transporte consagradas há décadas, simplesmente pelo avanço de instrumentos computacionais desenvolvidos especificamente para agilizar e ampliar a aplicação matemática e gráfica dessas metodologias, especialmente os aplicativos computacionais desenvolvidos em plataformas de informações geográficas.

Os modelos teóricos desenvolvidos para representar os sistemas de transporte urbano e regional, este último, com principal interesse para a Política Federal de Transportes no Brasil, resultaram em poderosos mecanismos de simulação e permitiram uma ampliação dos estudos e pesquisas de aprimoramento dos modelos de transportes, tanto em termos acadêmicos, como em procedimentos práticos e de uso institucionais e comerciais ao redor do mundo. A complexidade dos sistemas de transporte pode ser representada, enfim, por modelos matemáticos complexos, cujos mecanismos citados permitiram a implantação e obtenção de resultados cada vez mais rápidos e confiáveis.

Essa evolução computacional se estendeu ao longo dos anos, ampliando-se tanto no contexto metodológico, como no tocante às velocidades de processamento computacionais que se tornaram cada vez maiores, e com isso, possibilitaram ampliar as complexidades dos estudos de logística e transportes, utilizados, entre outros fins, para subsidiar o planejamento estratégico governamental nesse setor. Dessa forma, a última década apresentou diversos e complexos estudos de planejamento de logística e transportes, o que permitiu aos setores governamentais adotarem de forma deliberada, metodologias como fundamentos técnicos no desenvolvimento das diretrizes de políticas e planos de transporte governamentais.

Um dos marcos desse paradigma está registrado tanto nos Planos Estaduais de Logística e Transportes – PELTs desenvolvidos a partir do ano 2000, como no seu marco mais significativo o Plano Nacional de Logística e Transporte – PNLT publicado em sua primeira versão em 2007. Um dos principais marcos do recente período do planejamento estratégico, a partir do ano 2000, foi o PPA de 2004-2007, intitulado

“*Plano Brasil para Todos*”, que se caracterizou por um planejamento de longo prazo com propostas de mudanças estruturais, estabelecendo para o setor de transporte que os investimentos em infraestrutura deveriam eliminar os entraves do setor produtivo e reduzir os custos de logística, e ainda, no setor exportador, sustentar a expansão de vendas brasileiras no mercado internacional (BRAGA, 2008).

Outro grande marco deste período foi o PPA de 2008-2011, intitulado “*Plano de Aceleração do Crescimento – PAC*”, instituído pelo Decreto Presidencial Nº 6.025, de 22 de janeiro de 2007, e que contou, no setor de transporte, com subsídios do “*Plano Nacional de Logística e Transporte – PNLT*” sob uma plataforma georeferenciada e modelos de macroeconomia e de transportes.

O PAC no período 2008-2011 apresentou duas versões, “*PAC1 e PAC2*”, sendo a segunda, resultante da revisão de investimentos ocorrida logo em 2009. Atualmente, o PPA 2012-2015 apresenta o mesmo título do anterior e a incorporação das indicações de investimentos em infraestrutura de transporte, indicadas no PNLT, são pelo mesmo, incorporadas com maior percentual do que nas versões anteriores. Na sua primeira versão, o PAC foi apresentado à sociedade brasileira como um Programa de Desenvolvimento visando promover a aceleração do crescimento econômico, o aumento do emprego, e a melhoria das condições de vida da população brasileira (LUNA *et al.*, 2011).

No setor de transportes, o PAC, instituído e baseado pelas determinações do Decreto Presidencial nº 6.025, de 22/01/2007, abrangeu medidas de estímulo ao investimento privado, ampliação dos investimentos públicos em infraestrutura, e melhoria da qualidade do gasto público. Estando à época, estruturado em um conjunto de investimentos em três eixos decisivos, sendo que um deles equivalia à “*infraestrutura logística, envolvendo a construção e ampliação de rodovias, ferrovias, portos, aeroportos e hidrovias*”, o PAC procurou intensificar os investimentos em infraestrutura de transporte, buscando, ainda, resgatar diversas propostas e necessidades de investimentos nacionais nessa área.

A partir desse ponto, e com os PELTs, que antecederam ao PAC, e também ao PNLT, e que continuaram a serem desenvolvidos e revisados nos Estados da Federação, que o Brasil chegou aos dias atuais com uma intensa retomada do planejamento estratégico dos transportes. Outros planos e planejamentos de transporte, em diretrizes semelhantes aos citados, mas de caráter municipal, de metrópoles como Rio de Janeiro/RJ e São Paulo/SP,

também contribuíram para intensificar os esforços governamentais e institucionais do planejamento estratégico do setor de transportes no Brasil.

No âmbito federal, pelo Ministério dos Transportes – MT é o PNLТ que promove a continuidade (perenização) dos mecanismos metodológicos e científicos que atualmente subsidiam as tomadas de decisões de investimentos de abrangência nacional. O MT estabeleceu, ao formular o PNLТ, em conjunto com o Ministério da Defesa em 2007, que o plano deveria ser atualizado a cada dois anos e a cada quatro anos sofreria uma revisão nas suas proposições, de modo a acompanhar a execução de projetos do Plano Plurianual e do PAC, avaliando seus impactos no planejamento do Governo Federal. Desta forma em 2009, houve uma atualização do PNLТ com a proposição de uma metodologia para sua revisão, que ocorreu efetivamente em 2011.

Apoiado em uma diretriz de contínuo aprimoramento e revisão, o PNLТ apresenta um processo metodológico que contribui, em parte, com a motivação desta Tese, em propor um procedimento de localização de Centro de Integração Logística – CIL, que permita aprimorar nos mecanismos técnicos do plano, a efetiva incorporação do quesito “*logística*”. Assim, a importância dos estudos e pesquisas sobre localização e implantação de CIL surge como um dos principais fatores que podem promover um real aprimoramento do planejamento estratégico dos transportes, particularmente, no Brasil. Nesse contexto, os CIL podem ser considerados no planejamento estratégico dos transportes, como elementos fundamentais no incentivo da inter e multimodalidade, em cenários de médio e longo prazo, tal como se observa nas premissas metodológicas dos PELTs e também do PNLТ.

### **3.3 A IMPORTÂNCIA DO CIL PARA O APRIMORAMENTO DO PLANEJAMENTO LOGÍSTICO E DE TRANSPORTES**

Considerando a evolução da história recente do planejamento de logística e transporte, observa-se que atualmente os mecanismos institucionais primam pela eficiência e economia do funcionamento dos sistemas viários e seus pontos de conexão logística. Faz parte do contexto institucional que os investimentos se pautem pela premissa de planos e planejamento de logística e transporte desenvolvidos por uma visão sistêmica, que considere a otimização dos custos de circulação de mercadorias e pessoas, no seu conjunto como um todo.

Dessa forma, a questão da localização e formação de polos em redes de infraestrutura, e do funcionamento desses como centros logísticos, depende não somente de fatores relacionados às redes de transporte, mas também das dinâmicas de mercados que motivam as produções, consumos e as circulações de mercadorias, como das disposições e distribuições dessas produções e consumos, que ocorrem de forma heterogênea, devido a diversos fatores relacionados com a evolução econômica, social e ambiental de um determinado território. Por outro lado, a quantidade da produção, sua distribuição de consumo e os meios de infraestrutura disponíveis, influenciam o planejamento das redes viárias de logística e transporte (LI, 2013).

Assim, a importância do planejamento de logística e transporte integra em seus elementos de avaliação o conceito de CIL atende a todos esses aspectos descritos, e demandam esforços para que sejam aprimoradas e adaptadas metodologias e procedimentos técnicos, visando subsidiar tal integração.

Para que essas metodologias e procedimentos sejam efetivamente praticados, torna-se importante que as principais teorias e aspectos conceituais do funcionamento de um CIL sejam compreendidos e interpretados na visão do planejamento estratégico de logística e transporte.

Entre todos os possíveis aspectos a serem avaliados, a questão da localização e formação de polos concentradores de carga em pontos do sistema de infraestrutura, a integração desses polos no funcionamento logístico e de transporte e os seus efeitos nas reduções dos custos de transporte da circulação de mercadorias e pessoas, se destacam e são apresentados de forma sintética na sequência.

### **3.3.1. Síntese sobre a questão da localização e da formação dos polos concentradores de carga em rede de infraestrutura**

Segundo PEREIRA (2010) na evolução do sistema capitalista, a implementação do modelo de planejamento e de desenvolvimento favoreceu a expansão das redes materiais (transportes) e imateriais (telecomunicações e informática) pelos territórios, como uma forma de atender a expansão desse sistema, agindo como um elo de articulação entre os setores de produção, de comercialização, de circulação e de consumo.

A concentração na espacialização do capital é uma forma de manter a hierarquização das redes de infraestrutura, de produção e de comercialização, que têm os seus fundamentos na teoria da localização (Von Thünen; Alfred Weber), na teoria dos

lugares centrais (Walter Christaller) e na teoria dos polos (François Perroux), considerando que essas teorias levam à compreensão do processo de concentração das atividades produtivas, comerciais e de serviços na economia de mercado (PEREIRA, 2010).

Ampliando os conceitos anteriores, conforme FERREIRA (1989), o modelo de Von Thünen enfatiza que o mercado está concentrado na cidade; sendo assim, os produtos que apresentam maiores custos com transportes deveriam ser produzidos próximo dessa cidade. No entanto, os produtos que apresentam menores custos com transportes deveriam ser produzidos nas áreas mais distantes. Esse modelo considera as questões homogêneas do território, a distribuição não uniforme da produção agrícola, explicada pela variação do custo do transporte, além de ser um modelo estático, no qual é quase irrelevante o papel da tecnologia.

A teoria da localização industrial de Alfred Weber demonstra que a localização ótima da atividade industrial é representada pelo ponto espacial onde se tem menor custo com transporte. Nesta teoria, os baixos custos da mão de obra também favorecem a localização industrial, desde que os custos economizados com a mão de obra consigam cobrir os gastos com transportes, considerando, principalmente, a imobilidade espacial da mão de obra e a manutenção das diferenças salariais entre as regiões (FERREIRA, 1989). Em outras palavras, a teoria de Weber demonstra que a localização da atividade industrial se dá em espaços geográficos onde os custos de produção são menores, propiciando, assim, a maximização dos lucros (FERREIRA, 1989). Na teoria dos lugares centrais, Walter Christaller considera que a localidade central é constituída por três princípios básicos de comportamentos:

- 1) O princípio básico do mercado, que gera a hierarquia urbana;
- 2) O princípio de transporte ou de tráfego, influenciado pela alta demanda dos transportes, com a redução das distâncias e dos custos dos fretes entre os vários centros; e
- 3) O princípio da administração, que traça as diretrizes no ordenamento das orientações para o mercado (ALVES, 2002 *apud* PEREIRA, 2010).

Sobre esse contexto, PEREIRA (2010) complementa dizendo que quanto maior for a demanda, o alcance de bens e serviços, menor será o número de cidades aptas a oferecê-los, ou seja, o nível hierárquico da cidade/mercado obedece a uma sequência da cidade maior para menor. No nível de hierarquia, a teoria dos polos de

crescimento deixa explícita a ideia também de crescimento desequilibrado e combinado em uma economia de mercado.

Completando o raciocínio estabelecido pelas teorias e autores citados anteriormente, PERROUX (1977) *apud* PEREIRA (2010), afirma que o crescimento não aparece simultaneamente em toda parte. Ao contrário, manifesta-se em pontos ou polos de crescimento, com intensidades variáveis, e expande-se por diversos canais e com efeitos finais variáveis sobre toda a economia.

Conforme explicado por PEREIRA (2010), na teoria de PERROUX (1977), a heterogeneidade do crescimento se dá pela exploração das relações entre indústrias motrizes e as indústrias movidas, as quais podem aumentar suas vendas comprando serviços uma das outras, dinamizando, assim, a economia regional.

Todos esses aspectos são fundamentais para o entendimento da importância da inserção do CIL nas redes de transporte, pois, conforme PEREIRA (2010), as teorias desses autores deram ênfase à questão da concentração das atividades produtivas em determinadas áreas geográficas, onde os menores custos produtivos e a maximização dos lucros levam ao efeito multiplicador da economia, explicando a forma de hierarquização das redes.

Todo o exposto torna-se importante quanto interpretado para fins de otimização de fluxos e seus meios de movimentação em redes, cujos custos totais dependem tanto de sua natureza, quando dos custos fixos, que se caracterizam pelos sistemas físicos de infraestrutura de transportes.

Esse contexto está relacionado com a geografia dos transportes, que também se associa com as distintas dinâmicas de produção e consumo de um território. Para SANTOS e SILVEIRA (2003) é a circulação que possibilita a criação e a continuidade das áreas de produção.

Ao mesmo tempo eles chamam atenção ao fato de que a alta densidade da malha, principalmente rodoviária, responde a uma necessidade de fluxo das empresas, considerando que estas desenham suas novas topologias fundadas em suportes territoriais como estradas, ferrovias, hidrovias, portos e aeroportos, não apenas de uso público, mas também graças à construção dos seus próprios nós materiais.

Os autores entendem que as redes transformam o espaço geográfico, possibilitando, assim, o crescimento dos fluxos de mercadorias, de pessoas, de capitais e



de informações pelos territórios, ampliando a velocidade das redes com o intuito de superar o espaço/tempo e/ou diminuir as distâncias, tornando-as mais complexas e abrangentes (SANTOS e SILVEIRA, 2003).

É nesse contexto que se deve compreender a importância de um CIL para o planejamento territorial e funcional dos sistemas viários de transporte. SPOSITO (2010) afirma que as redes não se formam por acaso. Elas são resultado do trabalho de numerosos atores que, em diferentes lugares e momentos, e com capacidades distintas de ação, exerceram e/ou exercem seu papel como agente da história. As redes são planejadas à medida que os nós se posicionam e se dinamizam, estrategicamente, dentro da rede.

Toda essa questão demonstra que a localização de uma considerável parte das unidades de produção de um território busca minimizar os custos da sua cadeia produtiva, e parte desses custos estão associados à proximidade de grandes mercados consumidores, cujos gastos com o transporte a partir da produção sejam os menores possíveis. Por outro lado, a quantidade da produção, sua distribuição de consumo e os meios de infraestrutura disponíveis, influenciam o planejamento das redes viárias de logística e transporte.

As produções que se adequam às maiores facilidades de transporte com melhores custos logísticos, normalmente constam de produtos de alto valor agregado. Por outro lado, existe parte da produção de uma economia, que devido ao seu mercado consumidor e por consequência da sua quantidade produzida, quando de baixo valor agregado, acabam se localizando em áreas com maiores custos de logística e de transporte, devido à deficiência das redes viárias para o transporte de longas distâncias.

A localização dessa produção também é orientada pela disponibilidade de territórios adequados, ou por vezes, determinados por suas localizações naturais, como no caso, por exemplo, das extrações minerais. Contudo, em territórios com dimensões continentais como o Brasil, mesmo produções de alto valor agregado acabam necessitando de redes viárias eficientes para transportes em longas distâncias, devido à distribuição territorial do seu consumo.

Conforme visto anteriormente, como existe o desequilíbrio na distribuição da concentração da produção e do consumo, e como os custos de logística e transporte acabam sendo afetados por esse fator, a consideração de zoneamentos logísticos, com a inserção de nós caracterizados como CIL de uma rede viária de transporte, principalmente

se essa for multimodal, provoca resultados distintos nos custos finais das mercadorias consumidas, em relação aos cenários onde os mesmos não são considerados.

Essa questão está associada ao que PEREIRA (2010) descreve sobre o nível de hierarquia, que com base na teoria dos polos, deixa explícita a ideia também de crescimento desequilibrado e combinado em uma economia de mercado. Dependendo do tipo base econômica produtiva, o planejamento de uma rede transporte incorpora condições de contorno que refletem nos seus resultados e na sua diretriz de proposição de investimento.

Quando uma economia apresenta-se estruturada em um intenso comércio internacional, onde as exportações representam uma considerável parcela do seu Produto Interno Bruto – PIB, o planejamento de transportes se direciona para orientar investimentos em redes eficientes que interliguem as produções no interior de um determinado território com os portos ou para pontos logísticos centrais, no caso de países onde o transporte terrestre se dá com maior facilidade na execução do comércio exterior.

Caso tal base produtiva seja de bens de consumo primário, os custos de investimento e manutenção de sistemas viários de transporte são fundamentais para que o mesmo seja mantido eficiente, e por consequência, reduzam os custos finais do consumo, mantendo-se também as condições adequadas para a competitividade internacional dessa produção para o comércio exterior. Para países com dimensões territoriais continentais, como no caso do Brasil, a otimização dos custos logísticos e operacionais de transporte é fundamental para que o desenvolvimento econômico seja efetivamente garantido.

Assim, a concentração de cargas em pontos com “naturais” condições de infraestrutura multimodal, disponibilidade de oferta de serviços especializados, acessos aos processos eficientes de resolução burocráticas do transporte e demais aspectos relacionados à disponibilidade de meios que caracterizem um CIL, efetivamente, se considerados no processo de planejamento estratégico dos transportes, promove uma efetiva mudança em médio e longo prazo para os custos totais da cadeia logística entre a produção e o consumo.

Contudo, a localização de um CIL deve ser baseada em todas as observações anteriormente expostas e cujas teorias fundamentam-se em comportamentos de livres mercados, característicos aos praticados no território brasileiro.

Outro fator relevante do CIL é a sua capacidade de adequação e fortalecimento de economias regionais, pela concentração de riquezas produtivas, que atraem investimentos e ampliam a circulação financeira, gerando novas oportunidades, principalmente pela atratividade gerada para instalação e operação de indústrias e serviços, devido à diminuição significativa dos custos de transporte.

Assim, deve-se entender a importância da implantação e funcionamento de um CIL, como um elemento do planejamento estratégico da logística e transporte, como sendo o elemento que permite potencializar as condições “naturais” de polos (nós de uma rede) que apresentam condições de promover consideráveis reduções dos custos finais no transporte de mercadorias de uma região, ou até mesmo, para o comércio internacional.

Esse elemento, contudo, não se insere aleatoriamente no contexto dos sistemas de transporte, mas por meio de processos metodológicos que considerem as características geográficas, econômicas, produtivas e do funcionamento operacional das redes de transporte associadas a esses temas.

Nesse caso, deve-se promover a inserção do CIL por meio de procedimentos técnicos e metodologias que considerem todos esses aspectos, na definição de um zoneamento logístico de transporte.

Assim, a proposição de localização de um CIL deve ser compreendida como o zoneamento de pontos logísticos em uma rede viária de transportes, tal que com esse zoneamento, por meio de um determinado nível de investimento para a sua implantação, possa promover considerável redução dos custos de transporte, sem que haja necessidade da mesma ser modificada ou ampliada em sua capacidade, e os investimentos aplicados sejam economicamente viáveis em relação aos benefícios que tais reduções promoverão em longo prazo.

### **3.3.2. Uma revisão sobre integração logística e de transporte**

A utilização de CIL, assim como de Plataforma Logística, é uma prática que ocorre ao redor do mundo. Como apresentado nos conceitos e definições deste Capítulo, na Seção 3.1.2, o CIL possui alguns atributos funcionais, sendo, contudo, o seu principal, o elevado potencial de integrar infraestruturas e serviços de transporte diferentes, possibilitando significativa redução final dos custos entre produção e consumo.

Em parte, essa integração ocorre pelo uso da multimodalidade, que se torna viável tanto pela concentração de cargas na área do CIL, como pela segurança e facilidade dos demais serviços associados ao transporte desse tipo.

Segundo KONINGS (1996), em muitas circunstâncias, o transporte intermodal não é competitivo ao transporte rodoviário direto. O transporte intermodal, muitas vezes apresenta-se com menor custo-benefício, mais demorado e menos confiável do que o transporte rodoviário. Nesse contexto, clientes de transporte querem que os seus bens sejam entregues com maior agilidade, com menor custo, de forma mais conveniente e também com o regime *just-in-time*. Muitos são também de opinião que a rede rodoviária será cada vez mais incapaz de satisfazer com qualidade, tais critérios.

Por outro lado, nem sempre os demais modos de transporte possuem condições operacionais e comerciais adequadas ao transporte de mercadorias gerais, dedicando-se, normalmente, ao transporte de mercadoria com elevado volume anual e contratos de médio e longo prazo. Esse tipo de funcionamento é característico do transporte ferroviário e fluvial no sistema viário brasileiro. Contudo, até a produção de mercadorias sazonais de considerável volume anual, acabam por não serem adequadas ao modo de transporte ferroviário e fluvial, devido à distribuição desencontrada dessa produção com os pontos de acesso a esses modos, tornando, assim, o transporte rodoviário mais vantajoso.

Em outras ocasiões, mesmo que ocorra a facilidade do acesso, nem sempre o transporte de uma determinada produção sazonal torna-se competitivo pelo uso da ferrovia e da hidrovia, em relação ao modo rodoviário.

De qualquer forma, com raríssimas exceções, o acesso ao modo ferroviário e fluvial, ocorre por meio do transporte rodoviário, e com isso, dependendo da distância percorrida entre o ponto de produção ao acesso às ferrovias e hidrovias, ao adicionar os custos de armazenagem e transferência, o transporte rodoviário pode apresentar, ainda, dependendo os destinos, um menor custo se utilizado com exclusividade.

Nesse contexto, o conceito de centros integrados para o transbordo, armazenamento, coleta e distribuição de bens surge como um elemento potencial para sanar as carências exigidas nas integrações dos modos de transporte.

Esse conceito envolve a integração espacial e funcional da movimentação de contêineres, armazenagem, além de empresas especializadas na intensificação dos

transportes desses contêineres, dentro de uma área especialmente projetada. Conforme definido por KONING (1996):

*“Neste local o terminal pode atuar como um elemento-chave dentro de um centro de tráfego de carga. Os elementos do centro de integração estão ligados ao sistema de transporte interno do próprio centro. Este sistema de transporte interno recolhe os recipientes das empresas privadas estabelecidas no local e os leva para o terminal, e vice-versa. O sistema de transporte interno também cumpre outras funções, movendo as mercadorias de um terminal para o outro (nos casos em que a junção é multimodal) e também movendo as mercadorias entre os terminais e áreas de armazenamento.”*

A localização do centro de integração tem por quesito principal, avaliar áreas onde a concentração de cargas possa ser efetivamente atraente como um negócio e, para tanto, deve considerar os aspectos territoriais do potencial negócio para os serviços de logística e transporte, do funcionamento da rede de infraestrutura de transporte, as facilidades de captação de cargas relacionadas à circulação inter e multimodalidade, entre outros fatores.

Os centros logísticos são preferencialmente desenvolvidos próximos a terminais de transporte intermodais por disporem de acessibilidade, vantagens de localização e alternativas de modos de transporte (ROSA, 2004b). O autor introduz ainda ao assunto, a construção do conceito de plataforma logístico-cooperativa, tendo como fundamento as distintas experiências internacionais de plataformas e centros logísticos:

*“Inicialmente, buscou-se extrair as características dos diversos modelos implantados para diferenciar as suas concepções. Ressaltam-se, principalmente, a aproximação de parceiros em áreas próximas aos terminais de transporte. Estes parceiros podem ser operadores logísticos, industriais, importadores ou exportadores, empresas especializadas na armazenagem e na distribuição. A forma de organização destas parcerias está relacionada a aspectos institucionais e legais, de localização e movimentação.”*

Assim, um CIL não pode prescindir do conceito descrito, considerando que a promoção da sinergia e cooperação de diferentes atores cujos objetivos finais visam a integração modal e a praticidade dos serviços e práticas logísticas, quando propostos metodologicamente no processo de planejamento estratégico dos transportes, induz, de forma prática, a mudança da circulação das mercadorias, e em determinadas situações, passa a viabilizar projetos e investimentos de infraestrutura e serviços de transporte.

Nesse contexto, um dos principais embargos ao funcionamento da inter e multimodalidade do transporte de mercadorias no Brasil está efetivamente na ausência de locais estratégicos destinados a promover as condições de integração logística, citadas anteriormente. Indo além, para que o SNV possua de fato, condições de funcionamento logístico integrado, principalmente no transporte de mercadorias, o planejamento de transporte deve incorporar em sua composição um estratégico zoneamento de pontos, também chamados de polos, desse sistema, que funcionem como CIL, em tal quantidade, que permita minimizar o custo de transporte, com o melhor custo-benefício dos investimentos necessários para implantação desses centros.

### **3.3.3. As principais reduções de custos pelo uso do CIL**

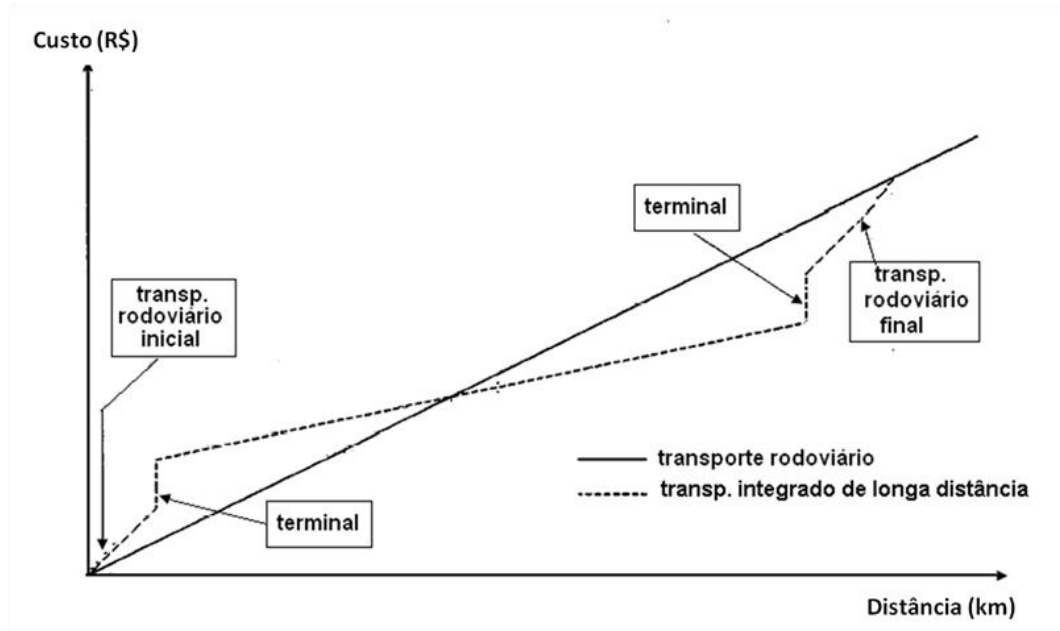
Segundo BARAT (2007), o grande benefício do gerenciamento de um sistema inter ou multimodal é o de permitir a combinação que otimize as vantagens competitivas, valendo-se das possibilidades de melhor adequação de cada modo em termos de velocidade, confiabilidade, segurança e flexibilidade. Por outro lado, dadas as exigências das complexas cadeias logísticas que resultaram da crescente integração da economia mundial, o transporte não pode ser dissociado do apoio de sistemas de terminais intermodais e de centros de estocagem e distribuição de cargas.

Estudos sobre redes logísticas (MARTEL e VIEIRA, 2010) e sobre impacto do custo do terminal no custo total do transporte (KIM e WEE, 2011) também são realizados com o objetivo de melhor definir o modelo matemático que promova a redução de custos de transporte a partir da instalação de um ponto concentrador de carga e de transbordo. A Figura 3.1 mostra um exemplo da variação do custo de transporte em função da distância, comparando o custo rodoviário com o custo do transporte intermodal incluindo as operações de terminal.

Assim, o transporte ferroviário e fluvial em diversas situações é competitivo, mas sua vantagem é frequentemente anulada pelos custos acrescidos do transporte nas seções de efetiva manipulação necessária à transferência das cargas, sendo que estes custos adicionais são relativamente elevados, especialmente em curtas distâncias entre origens e destinos (KONINGS, 1996).

Nesse contexto, os pontos ou polos de uma determinada rede de transportes que permitem economia significativa no processo de transferência de mercadorias entre modos de transporte, caso essa economia se reflète no valor final do transporte inter e

multimodal tornando-o mais atrativo do que o rodoviário, tornam tais pontos potenciais locais para se efetuar investimentos, visando intensificar a integração logística da citada rede de transporte.



Fonte: (KIM e WEE, 2011 adaptado de KONINGS, 1996).

**Figura 3.1** – Estrutura de custos do transporte intermodal e do transporte rodoviário.

Contudo, se tal economia é efetivamente obtida, no tempo, esse ponto passa a atrair fluxos de cargas que buscam menores custos de transporte, e por consequência, isso tende a aumentar a intensidade do acesso rodoviário e o seu tráfego na rede do seu entorno.

Conforme exposto por KONING (1996), isso significa que o transporte intermodal pode, em certo sentido, ser vítima de seu próprio sucesso, e encontrar-se incapaz de atender às expectativas do mercado, pois este crescimento pode ameaçar a acessibilidade do terminal em si. Deduz-se que tanto para um terminal como para um CIL, a questão é a mesma.

De qualquer forma, a integração logística é um importante elemento para os sistemas de transporte, e cabe ao planejamento ordenar e orientar o desenvolvimento, tanto da evolução da infraestrutura que compõem tais sistemas, como da circulação de mercadorias e pessoas por meio desse sistema.

## **4. MODELOS DE LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO APLICADOS NO PLANEJAMENTO DO CIL**

Este capítulo apresenta as características e formulações matemáticas votadas ao problema de localização de instalações. Os modelos matemáticos aqui apresentados permitirão definir a melhor estratégia para localização dos Centros de Integração Logística – CIL.

### **4.1. CONCEITOS E DEFINIÇÕES**

A localização de instalações ou facilidades é uma importante linha de pesquisa dentro da grande área Pesquisa Operacional. Neste problema, a facilidade deve interagir com outros elementos que possuem locais fixos, por exemplo, produtores, que normalmente estão distantes uns dos outros. Sendo assim, o conceito de distância entre as facilidades e todos os outros elementos, permitem identificar uma função objetivo a ser otimizada. Por outro lado, algumas informações de demanda dos elementos e de capacidade das instalações são agregadas ao problema, restringindo-o.

O estudo de localização de facilidades está associado ao planejamento estratégico e pode ser aplicado tanto à área pública como privada. Normalmente, antes de uma instalação ser instalada fisicamente, deve-se realizar um estudo de localização para definir o melhor local das instalações e as respectivas capacidades.

De maneira específica, ROZENTAL e PIZZOLATO (2009) afirmam que localizar uma instalação consiste em escolher uma posição geográfica para a sua operação tal que uma medida de utilidade, ou função de utilidade, seja otimizada (maximizada ou minimizada), satisfazendo algumas restrições.

Estes problemas podem ser representados por redes nas quais os pontos, também conhecido como vértices, possuem interações dadas por linhas, também conhecidas como arestas, que descrevem, por exemplo, vias urbanas. Segundo ARAKAKI (2003), o termo facilidade pode representar fábricas, depósitos, escolas, antenas, etc., ou seja, instalações físicas de suporte.

Entretanto, em problemas práticos, ao localizar uma facilidade deve-se indicar também a sua área de atendimento. Por exemplo, ao se localizar centros de distribuição para realizar a distribuição física de produtos para os clientes espalhados geograficamente, deve-



se indicar quais clientes cada centro de distribuição deve atender. Esta característica é conhecida na literatura como alocação e assim, surge o termo localização-alocação.

A teoria de localização de facilidades é bem extensa. Como citado por diversos autores, a localização de uma instalação depende de fatores tangíveis e intangíveis. BALLOU (2001) indica que os seguintes fatores influenciam na localização de centros de varejo:

- Demografia local, base populacional e renda potencial;
- Fluxo de tráfego e acessibilidade, número e tipos de veículos, número e tipos de pedestres, disponibilidade de transporte público, fácil acesso às vias principais, e nível de congestionamento;
- Estrutura do varejo, disponibilidade, número e tipos de concorrentes e de lojas na área, lojas complementares vizinhas, proximidades de áreas comerciais e promoções conjuntas por comerciantes locais;
- Características do ponto, proximidade e qualidade do estacionamento, visibilidade, tamanho e forma do ponto, qualidade de entradas e saídas e boas condições dos edifícios existentes; e
- Fatores legais e de custo, tipo de zoneamento, períodos e cláusulas restritivas de locação, impostos locais, serviços e manutenção.

Por outro lado, em problemas que envolvem localização regional de instalações, LOPEZ e HENDERSON (1989) indicam que os seguintes fatores devem ser levados em consideração:

- Disponibilidade de matéria-prima;
- Proximidade com o mercado;
- Possível existência prévia de uma instalação;
- Estar localizado ou já fazer negócio no estado;
- Disponibilizado de mão de obra;
- Disponibilidade de água;
- Proximidade aos centros de distribuição;
- Disponibilidade de instalações de tratamento e depósito de lixo;
- Atratividade local;
- Produtividade da mão de obra;
- Custo do terreno;
- Regulamentação em relação à poluição d'água;

- Existência de centros de capacitação profissional;
- Existência de instalações municipais para despejo e manuseio de lixo sólido;
- Custo de despejo de esgoto;
- Disponibilidade e custo de serviços de transporte;
- Custos das facilidades;
- Custo de construção;
- Custos anuais de conformidade com as regulamentações ambientais;
- Regulamentação de poluição do ar;
- Proximidade de instalações portuárias;
- Custo de vida na região;
- Dificuldade de identificação as leis ambientais;
- Imagem do estado; e
- Impostos em geral.

De maneira mista, YANG e LEE (1997), BHATNAGAR *et al.* (2003), e CALDAS *et al.* (2009) apontam fatores conflitantes que influenciam na localização de facilidades como:

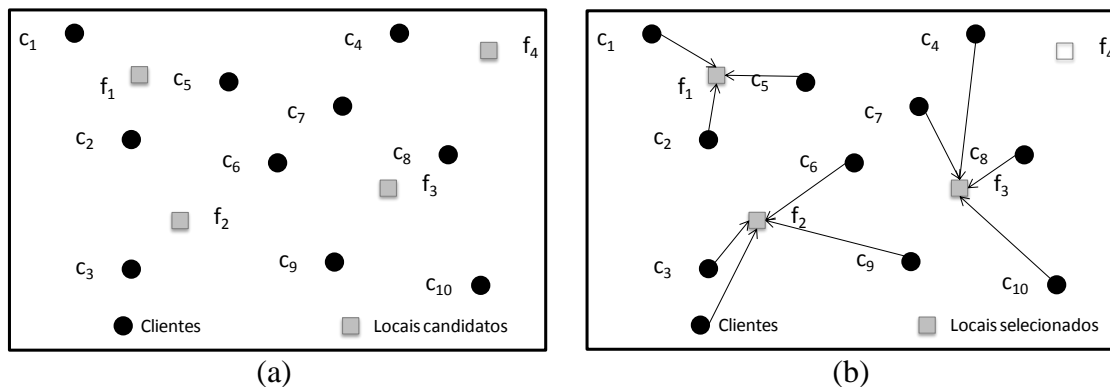
- Proximidade às principais vias urbanas, rodovias, ferrovias e hidrovias;
- Disponibilidade de energia, água e telecomunicações;
- Características geográficas e topológicas do local;
- Fatores ambientais;
- Conveniência de sua utilização como fator de desenvolvimento local;
- Impacto na geração de tráfego; e
- Produção e consumo.

Assim, com base em diversos autores como BALLOU (2001), LOPEZ e HENDERSON (1989), YANG e LEE (1997), CHUANG (2001), GALVÃO *et al.* (2003) e ROMERO (2006) elaborou um resumo dos fatores que influenciam na localização de facilidades, são eles: área para implementação; utilidades públicas; acessibilidade; disponibilidade e custo da matéria-prima; mercado; aspectos ambientais; aspectos físicos geográficos; ocupação urbana; recursos humanos; qualidade de vida; impostos e taxas; incentivos fiscais e tributários; e Governo.

Para a realidade brasileira, ROMERO (2006) destaca incentivos fiscais e tributários como o principal fator nas decisões de localização.

## 4.2. CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS DE LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO

A Figura 4.1 apresenta um problema de localização em que, por exemplo, clientes ou pontos de demanda solicitam quantidades de um determinado produto que serão enviadas a partir de centros de distribuição ou facilidades. Para o problema da figura, as facilidades podem ser localizadas apenas nos locais candidatos, como mostrado na figura, caracterizando um problema discreto.



**Figura 4.1** – Representação básica de um problema de localização de centros de distribuição para atender clientes que demandam produtos. (a) Distribuição espacial dos clientes e dos locais candidatos, e (b) Possível solução.

A Figura 4.1 (b) apresenta uma possível solução para o problema da Figura 4.1 (a), em que três facilidades foram posicionadas e todos os clientes foram atendidos (as setas indicam os atendimentos ou as alocações realizadas).

Note que um local candidato não recebeu uma facilidade, que todo cliente é atendido uma única vez e exclusivamente por uma facilidade posicionada (ou aberta), e que apenas um tipo de produto foi considerado. Estas características permitem imaginar que existem outros atributos presentes nos problemas de localização, possibilitando assim o surgimento de diversos modelos matemáticos voltados ao problema a ser solucionado.

BRANDEAU e CHIU (1989), KRARUP e PRUZAN (1990), e CRAINIC e LAPORTE (1997) apresentam classificações para os problemas de localização. Segundo BRANDEAU e CHIU (1989), e KRARUP e PRUZAN (1990), os problemas de localização de facilidades podem ser classificados em Modelos Planares, Modelos Discretos, Modelos Estáticos e Dinâmicos, Modelos Determinísticos e Estocásticos, Modelos com um Único Produto e Modelos

Multiprodutos, Modelos com um Único Objetivo e Modelos Multi-Objetivo, Modelos Capacitados e Não-Capacitados.

Com base na classificação de BRANDEAU e CHIU (1989), e KRARUP e PRUZAN (1990) apresentada, nota-se que algumas características podem ser incluídas nos modelos de localização como a definição de um número fixo de facilidades, e de máxima cobertura possível.

#### **4.2.1. Modelos Planar e de Rede**

Nos modelos planares, as instalações e os pontos que apresentam demanda estão “espalhados” no plano. Conforme KLOSE e DREXL (2005), nestes problemas as facilidades podem ser localizadas em qualquer lugar do plano. Os modelos planares utilizam normalmente a distância mais curta entre dois pontos, ou seja, a distância Euclidiana. Por apresentar formulações matemáticas não lineares, estes modelos apresentam dificuldades de ordem computacional (BALLOU, 2001).

#### **4.2.2. Modelos Discretos**

Nos modelos discretos considera-se normalmente que os pontos de demandas e as instalações estão localizados em pontos específicos de uma rede. Essa rede, também conhecida como grafo, é composta de vértices e arcos, e assim, a distância entre dois pontos pode ser obtida em rede. HURTER e MARTINICH (1989) e DASKIN (1995) descrevem bem este modelo.

#### **4.2.3. Modelos Estáticos e Dinâmicos**

Modelos estáticos não são dependentes da variável tempo. Neste caso, com os dados do problema, faz-se uma localização para um período de tempo específico. Por outro lado, nos modelos dinâmicos os dados variam com o tempo. Estes modelos têm impacto interessante no planejamento uma vez que podem indicar em que momento algumas instalações deverão ser fechadas. DASKIN (1995) faz uma boa revisão sobre estes modelos.

#### **4.2.4. Modelos Determinísticos e Estocásticos**

Conforme NOGUEIRA (2007), os dados de um modelo de localização podem ser determinísticos ou estocásticos (probabilísticos), originando assim os modelos de localização determinísticos e probabilísticos.

#### **4.2.5. Modelos com um Único Produto e Modelos Multiprodutos**

Também conforme NOGUEIRA (2007), a maior parte dos modelos de localização busca instalar facilidades que atendem a uma procura generalizada por um único produto. Entretanto, existem problemas multiproduto nos quais as facilidades precisam prestar diversos serviços para lidar com vários produtos.

#### **4.2.6. Modelos com um Único Objetivo e Modelos Multi-Objetivo**

Modelos com um único objetivo buscam, basicamente, minimizar o custo total associado à instalação das facilidades e ao transporte realizado entre as mesmas e os pontos de demanda. Por outro lado, os modelos multi-objetivos buscam trabalhar com múltiplos objetivos ao mesmo tempo como minimizar o custo total, minimizar os riscos ambientais, maximizar a demanda coberta, e maximizar o nível de serviço, entre outros.

No caso de problemas multi-objetivos busca-se encontrar uma solução de compromisso entre todos os objetivos conflitantes. FARAHANI *et al.* (2010) fazem uma revisão sobre os problemas de localização multi-objetivos.

#### **4.2.7. Modelos Capacitados e Não-Capacitados**

Modelos de localização consideram, genericamente, que as facilidades não apresentam capacidade ou possuem capacidade ilimitada. Entretanto, existem problemas que impõem limites ou faixas de capacidade para as facilidades, que entram nos modelos matemáticos como restrições.

### **4.3. MODELOS MATEMÁTICOS DE LOCALIZAÇÃO**

Nesta seção serão apresentados os principais modelos matemáticos de localização e que se aderem ao problema de localização de CIL, que se aborda nesta Tese: modelos de cobertura,  $p$ -Centro,  $p$ -Medianas e  $p$ -Medianas Capacitado. De forma resumida, MAPA (2007) descreve as principais características dos modelos matemáticos de localização, como apresentado no Quadro 4.1.

**Quadro 4.1** – Descrição geral dos modelos matemáticos de localização.

Problema	Descrição
Cobertura de Conjuntos	Baseia-se na distância ou tempo de viagem máximos aceitáveis, buscando a minimização do número de facilidades necessárias para garantir certo nível de cobertura de clientes. Assume um conjunto finito de localizações. É muito utilizado na localização de serviços públicos, tais como centros de saúde, agências de correio, bibliotecas ou escolas.
Máxima Cobertura	Considerando o caso de um orçamento fixo, os recursos disponíveis são utilizados para atender o máximo possível de clientes cobertos pelo serviço, dentro de uma distância aceitável, localizando um número fixo de instalações. Assume um conjunto finito de localizações.
Modelo de Centros	É um problema <i>MINMAX</i> cujo objetivo é minimizar a máxima distância entre os pontos de demanda e a facilidade mais próxima. Deseja-se cobrir toda a demanda procurando localizar certo número de facilidades, desde que minimize a distância coberta. Quando a localização da facilidade está restrita ao nó da rede, tem-se o problema de centro de vértice. Caso se permita a localização em qualquer lugar da rede, o problema é de centro absoluto. São modelos principalmente 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. Esta abordagem é muito utilizada ao se localizar aterros sanitários e locais de incineração.
Modelo de Medianas	Localizar $p$ instalações nos vértices de uma rede e alocar a demanda a estas instalações, de tal forma a minimizar as distâncias percorridas. Se as instalações são não-capacitadas e $p$ é fixo, tem-se então o problema das $p$ -medianas, onde cada vértice é designado para sua instalação mais próxima. Se $p$ é uma variável de decisão e as instalações são capacitadas ou não capacitadas, isto define o Problema de Localização de Instalações Capacitadas ou Não-Capacitadas, respectivamente. Estes modelos são relevantes para o projeto de serviços logísticos e distribuição de cargas.
Máxima Captura	É o problema das $p$ -medianas modificado, onde o objetivo é maximizar o número de novos clientes capturados, levando em consideração a presença de concorrentes.
Localização de facilidades a custo fixo	Problemas que possuem um custo fixo (aquisição, construção) associado à localização de cada área potencial. É uma variante dos problemas das $p$ -medianas.
Anti-Mediana	O objetivo é maximizar a distância média entre pontos de oferta e de demanda.
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.

Fonte: Adaptado de MAPA (2007).

DASKIN (2008) apresenta uma descrição classificatória para grupos de modelos de localização que se diferenciam pela forma com que a demanda é distribuída sobre uma área de serviço e o modo como as instalações podem ser localizadas dentro desta área. Essa classificação divide os modelos em analíticos, contínuos, de redes e discretos. Em especial, destacam-se os modelos discretos de localização como o de  $p$ -medianas capacitado e o de máxima cobertura, que apresentam elevado grau de dificuldade, mesmo para problemas de pequeno porte, mas que estão associados a diversas

aplicações práticas. A definição matemática dos principais modelos matemáticos de localização e sua aplicabilidade ao problema proposto na Tese será apresentada na sequência do quadro.

#### 4.3.1. Modelos de Cobertura

Modelos de cobertura estão associados à capacidade de cobertura das facilidades. A cobertura de uma facilidade está associada a uma distância crítica, ou seja, se a distância entre um ponto de demanda e uma facilidade for menor que a distância crítica, considera-se que esta facilidade cobre o ponto de demanda. Segundo DUBKE (2006), DREZNER e HAMACHER (2002), existem dois tipos de modelos matemáticos para problemas de cobertura: o problema de localização para cobertura de conjuntos e o problema de máxima cobertura.

Seja  $I$  um conjunto de potenciais locais para receber as facilidades, com um custo fixo de instalação  $f_i \geq 0$ , associado com cada facilidade  $i \in I$ , e seja  $J$  um conjunto de pontos de demanda. Como variáveis de decisão, seja  $x_i = 1$ ,  $i \in I$ , se a facilidade  $i$  é aberta, e  $x_i = 0$  caso contrário. Assim, no problema de localização para cobertura de conjuntos busca-se determinar o número mínimo de instalações necessárias e as suas localizações, de tal maneira que cada ponto de demanda seja coberto por pelo menos uma facilidade. Assim, conforme DREZNER e HAMACHER (2002), o modelo matemático abaixo representa o problema de localização para cobertura de conjuntos – PLCC:

**Minimizar:**

$$v(PLCC) = \sum_{i \in I} f_i x_i \quad (4.1)$$

**Sujeito a:**

$$\sum_{i \in I} a_{ij} x_i \geq 1 \quad \forall j \in J \quad (4.2)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (4.3)$$

Onde  $a_{ij} = 1$  se a distância entre a facilidade  $i$  e o ponto de demanda  $j$  é menor que a distância crítica, e  $a_{ij} = 0$ , caso contrário.

A função objetivo (4.1) busca minimizar o custo total associado à abertura das facilidades. As restrições (4.2) garantem que cada ponto de demanda seja coberto por pelo menos uma facilidade. Por último, as restrições (4.3) garantem o domínio das variáveis de decisão.

O problema de localização de máxima cobertura – PLMC busca maximizar o número de pontos de demanda cobertos dado um número fixo  $p$  de facilidades. A formulação matemática deste problema é apresentada abaixo.

**Maximizar:**

$$v(PLMC) = \sum_{j \in J} h_j z_j \quad (4.4)$$

**Sujeito a:**

$$z_j \leq \sum_{i \in I} a_{ij} x_i \quad \forall j \in J \quad (4.5)$$

$$\sum_{i \in I} x_i \leq p \quad (4.6)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (4.7)$$

$$z_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (4.8)$$

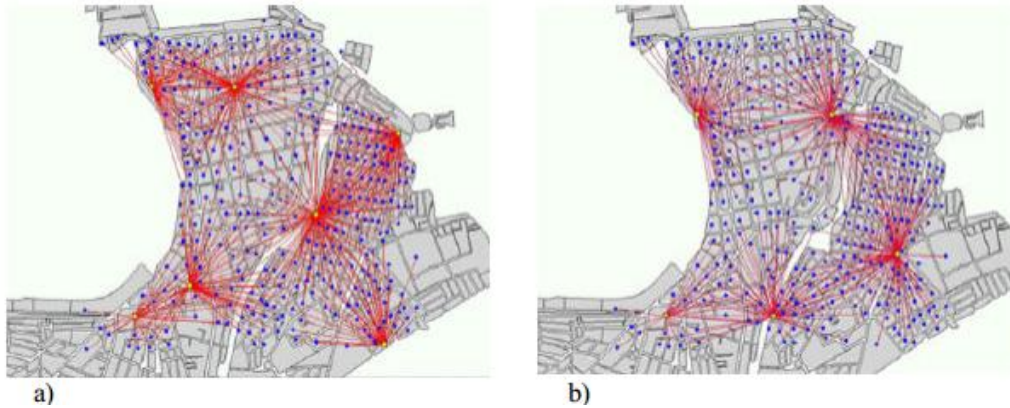
Onde  $h_j$  é a demanda presente no ponto de demanda  $j \in J$ .

A função objetivo (4.4) maximiza a demanda coberta. As restrições (4.5) garantem que um ponto de demanda não será coberto, a não ser que pelo menos uma instalação capaz de cobri-lo seja aberta. A restrição (4.6) garante que no máximo  $p$  facilidades sejam abertas. As restrições (4.7) e (4.8) garantem o domínio das variáveis de decisão. Diferentemente do PLCC, o PLMC não garante o atendimento de todos os pontos de demanda, ou seja, a cobertura de todos eles. As Figuras 4.2 e 4.3 exibem claramente estas diferenças.

A Figura 4.2 apresenta duas soluções para o mesmo PLCC, porém observa-se que a solução exibida na Figura 4.2(b) é melhor que a da Figura 4.1(a) porque são abertas cinco facilidades contra sete, entretanto verifica-se que todos os pontos de

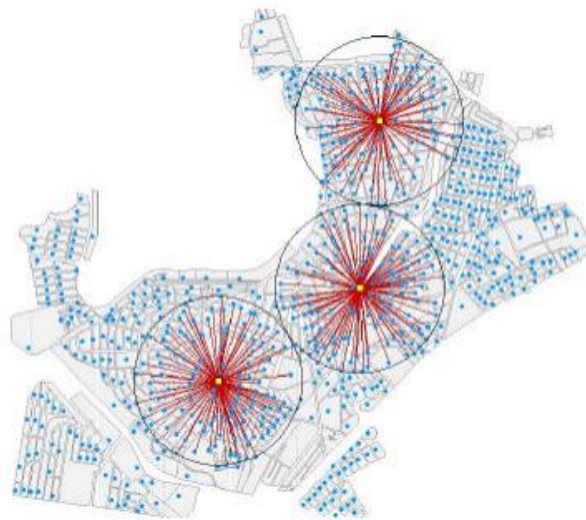


demanda foram cobertos pelas duas soluções. Por outro lado, a Figura 4.3 apresenta a solução ótima do PLMC para o mesmo problema, onde se observa que três facilidades apenas são abertas, e nem todos os pontos de demanda estão cobertos.



Fonte: LORENA (2003).

**Figura 4.2** – Soluções para o mesmo problema de cobertura de conjuntos de localização de antenas transmissoras.



Fonte: Lorena (2003).

**Figura 4.3** – Solução do problema de máxima cobertura para localização de antenas transmissoras.

#### 4.3.2. Modelo de $p$ -Centro

Os problemas de localização de  $p$ -centro – PL $p$ -Centro consistem em localizar  $p$  facilidades e alocar os pontos de demanda a elas, minimizando a maior distância entre um ponto de demanda e uma facilidade aberta.

Conforme MLADENOVIC *et al.* (2003) a localização de instalações do corpo de bombeiros ou de ambulâncias são típicas aplicações do PLp-Centro. Nestes casos, a distância da facilidade ao seu ponto de atendimento mais longínquo deve ser mínima. O modelo matemático do PL-Centro é apresentado a seguir.

**Minimizar:**

$$v(\text{PLp-Centro}) = z \quad (4.9)$$

**Sujeito a:**

$$\sum_{i \in I} y_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (4.10)$$

$$\sum_{i \in I} x_i = p \quad (4.11)$$

$$y_{ij} \leq x_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (4.12)$$

$$z \geq \sum_{i \in I} d_{ij} y_{ij} \quad \forall j \in J \quad (4.13)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (4.14)$$

$$y_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J \quad (4.15)$$

Onde:

- $d_{ij}$  representa a distância entre o ponto de demanda  $j \in J$  e a facilidade  $i \in I$ ;
- $p$  indica o número de facilidades a localizar;
- $y_{ij}$  representa a parcela da demanda do ponto  $j \in J$  atendida pela a facilidade  $i \in I$ ; e
- $z$  indica a distância máxima entre um ponto de demanda e a sua facilidade mais próxima.

A função objetivo (4.9) minimiza a distância máxima entre um ponto de demanda e a facilidade mais próxima. As restrições (4.10) garantem que as demandas dos pontos de demanda sejam atendidas pelas facilidades. As restrições (4.11) garantem que exatamente  $p$  facilidades serão abertas.

As restrições (4.12) garantem que a demanda do ponto  $j \in J$  só será atendida pela facilidade  $i \in I$  se houver uma facilidade aberta em  $i$ . As restrições (4.13) garantem que a máxima distância entre um ponto de demanda e a sua facilidade mais próxima, será maior que a distância entre qualquer outro ponto de demanda e a facilidade que lhe atende. As restrições (4.14) e (4.15) estão associadas ao domínio das variáveis.

### 4.3.3. Modelo de $p$ -Medianas

O problema de localização de  $p$ -Medianas – PLp-Med consiste em localizar  $p$  facilidades (ou  $p$  medianas) de modo a minimizar o custo total. O custo de atender um ponto de demanda está associado à distância entre este ponto e a facilidade mais próxima (SENNE *et al.*, 2005). Em algumas situações, este custo pode ainda ser ponderado pela demanda presente no ponto atendido. A formulação matemática deste problema é mostrada a seguir.

**Minimizar:**

$$v(PLp-Med) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} y_{ij} \quad (4.16)$$

**Sujeito a:**

$$\sum_{i \in I} y_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (4.17)$$

$$\sum_{i \in I} x_i = p \quad (4.18)$$

$$y_{ij} \leq x_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (4.19)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (4.20)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (4.21)$$

Onde:

- $d_{ij}$  representa a distância entre o ponto de demanda  $j \in J$  e a facilidade  $i \in I$ ;
- $p$  indica o número de facilidades a localizar;
- $y_{ij} = 1$  indica que o ponto de demanda  $j \in J$  é atendido pela a facilidade  $i \in I$ , e  $y_{ij} = 0$  caso contrário; e
- $x_j = 1$  se uma facilidade é aberta em  $j \in J$ , e  $x_j = 0$  caso contrário.

A função objetivo (4.16) busca minimizar o custo total (neste caso, distância total) entre um ponto de demanda e a facilidade mais próxima. As restrições (4.17) garantem que cada ponto de demanda  $j \in J$  será alocado a uma facilidade  $i \in I$ . As restrições (4.18) garantem que  $p$  facilidades sejam selecionadas.

As restrições (4.19) garantem que uma alocação será obtida entre um ponto de demanda  $j \in J$  e uma facilidade  $i \in I$ , se uma facilidade for aberta em  $i$ . As restrições (4.20) e (4.21) estão associadas aos domínios das variáveis.

#### 4.3.4. Modelo de $p$ -Medianas Capacitado

O problema de localização de  $p$ -Medianas Capacitado – PLp-MedCap é uma adaptação do PLp-Med que consiste na consideração de capacidade para cada facilidade  $j \in J$  e na inserção de demanda para cada ponto a ser atendido  $i \in I$ .

Assim, o modelo a seguir representa o PLp-MedCap conforme CHAVES *et al.* (2007) e DIAZ e FERNANDEZ (2006).

**Minimizar:**

$$v(PLp-MedCap) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} y_{ij} \quad (4.22)$$

**Sujeito a:**

$$\sum_{i \in I} y_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (4.23)$$

$$\sum_{i \in I} x_i = p \quad (4.24)$$

$$y_{ij} \leq x_i \quad \forall i \in I, j \in J \quad (4.25)$$

$$\sum_{j \in J} h_j y_{ij} \leq Q_i x_i \quad \forall i \in I \quad (4.26)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (4.27)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (4.28)$$

Onde:

- $h_j$  representa a demanda o ponto  $j \in J$ ; e
- $Q_i$  representa a capacidade da facilidade  $i \in I$ . Os demais parâmetros foram definidos na Seção 4.3.3.

O modelo matemático (4.22) – (4.28) é igual ao modelo (4.16) – (4.21), exceto pelas restrições (4.26) que garantem que as capacidades serão respeitadas.

#### 4.4. MODELOS MATEMÁTICOS DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES CAPACITADOS MULTIPRODUTO COM TRANSBORDO

Considerando as Seções anteriores e os conceitos de CIL apresentados no Capítulo 3, verifica-se a necessidade de estudar os modelos matemáticos de localização multiproduto com transbordo.

Em terminais de carga especializados, como os CIL integrados a uma rede multimodal, o transbordo surge como uma alternativa à transferência de carga, principalmente se ele estiver associado a uma cadeia de suprimentos, concentrando adequadamente os produtos ou insumos para reduzir os custos de transporte. Sendo assim, esta seção apresenta alguns modelos matemáticos que envolvem transbordo e vários produtos.

##### 4.4.1. O problema de localização de facilidades capacitado multiproduto com duas camadas

Seja agora  $I$  o conjunto de plantas (facilidades) que produzem determinados produtos,  $J$  o conjunto de pontos que solicitam produtos (ou commodities), e seja  $R$  o conjunto de produtos disponibilizados. Assim, conforme KARKASIS e BOFFEY (1981), o problema de localização de facilidades multiproduto foi introduzido por WARSZAWSKI e PEER (1973) e está modelado abaixo. Os dois conjuntos  $I$  e  $J$  definem as duas camadas de elementos. Assim, o problema de duas camadas se caracteriza pela análise de distribuição dos produtos originados em  $I$  e consumidos em  $J$ , sem considerar pontos intermediários.

**Minimizar:**

$$v(PLMultiProduto) = \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij}^r x_{ij}^r + \sum_{r \in R} \sum_{i \in I} f_i^r y_i^r \quad (4.29)$$

**Sujeito a:**

$$\sum_{i \in I} x_{ij}^r \geq 1 \quad \forall j \in J, r \in R \quad (4.30)$$

$$\sum_{r \in R} y_i^r \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (4.31)$$

$$y_i^r \geq x_{ij}^r \quad \forall i \in I, j \in J, r \in R \quad (4.32)$$

$$x_{ij}^r \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J, r \in R \quad (4.33)$$

$$y_i^r \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, r \in R \quad (4.34)$$

Onde:

- $c_{ij}^r$  representa o custo de transporte entre a planta  $i \in I$  e o ponto de  $j \in J$ , para o produto  $r \in R$ ;
- $f_i^r$  representa o custo fixo associado à abertura de uma planta  $i \in I$  para produzir o produto  $r \in R$ ;
- $x_{ij}^r = 1$  se o ponto de demanda  $j \in J$  é atendido pela planta  $i \in I$  que envia o produto  $r \in R$ , e  $x_{ij}^r = 0$  caso contrário;
- $y_i^r = 1$  se uma planta  $i \in I$  deve ser aberto para fornecer o produto  $r \in R$ .

A função objetivo (4.29) busca minimizar o custo total (de transporte e de abertura das facilidades). As restrições (4.30) garantem que pelo menos uma planta deverá fornecer produto a um ponto de demanda. As restrições (4.31) garantem a abertura de no máximo uma planta para cada produto. As restrições (4.32) garantem que o produto  $r \in R$  será enviado de uma planta  $i \in I$  para um ponto de demanda  $j \in J$ , se e somente se, uma planta for aberta em  $i$ . Já as restrições (4.33) e (4.34) estão associadas aos domínios das variáveis.

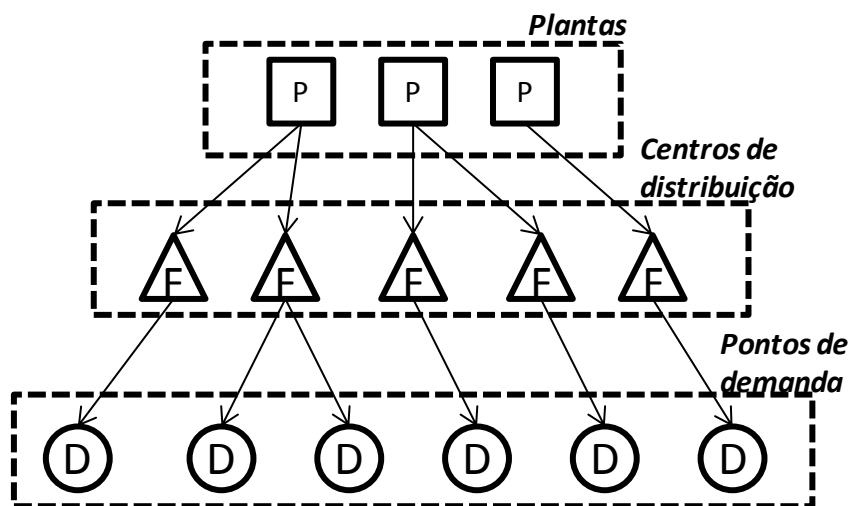
#### **4.4.2. O problema de localização de facilidades capacitado multiproduto multicamada**

A formulação original (4.29) – (4.34) de WARSZAWSKI e PEER (1973) não apresenta restrições de capacidade para as facilidades, e inclui como variável de decisão a abertura ou não de uma planta. Com isso, este problema é parecido com o clássico problema de transporte apresentado em HILLIER e LIEBERMAN (2010).

O modelo original de WARSZAWSKI e PEER (1973) foi base para diversos outros trabalhos. GEOFFRION e GRAVES (1974) foram os primeiros a ampliá-lo com a incorporação de uma camada intermediária de elementos entre as plantas e os pontos de demanda, propondo assim um modelo com vários elos ou *multi echelon* (MARTEL e VIEIRA 2010, BOCCIA *et al.* 2011, STERLE 2009).

A Figura 4.4 mostra de maneira esquemática o problema estudado por GEOFFRION e GRAVES (1974). Inicialmente as plantas produzem produtos que são enviados aos centros de distribuição (facilidades), e estes os enviam aos pontos de demanda conforme as solicitações.

Neste caso, devem-se determinar quantas e quais facilidades devem ser abertas, porém, os autores incorporam volumes mínimos e máximos às facilidades. Por último, nesta figura observam-se ainda três camadas de elementos, caracterizando-se assim um problema multicamadas.



Fonte: GEOFFRION e GRAVES (1974).

**Figura 4.4** – Estratégia de distribuição de produtos a partir de plantas, com centros de distribuição e pontos de demanda.

Assim, seja  $J$  um conjunto de locais de produção (plantas) de produtos,  $K$  um conjunto de locais potenciais para receberem facilidades,  $L$  um conjunto de zonas de clientes que solicitam produtos (pontos de demanda),  $S_{ij}$  capacidade de fornecimento do produto  $i \in I$  pela planta  $j \in J$ ,  $\underline{V}_k$  e  $\bar{V}_k$  os volumes mínimo e máximo, respectivamente, passando pela facilidade  $k \in K$ ,  $f_k$  o custo fixo para instalar a facilidade  $k \in K$ ,  $v_k$  o custo variável associado à facilidade  $k \in K$ ,  $C_{ijkl}$  o custo unitário médio de produção e

embarque do produto  $i \in I$ , da planta  $j \in J$ , utilizando a facilidade  $k \in K$ , para a o ponto de demanda  $l \in L$ , e seja  $h_{il}$  a demanda do produto  $i \in I$  pelo ponto de demanda  $l \in L$ .

Com relação às variáveis de decisão, seja  $x_{ijkl}$  uma variável que determina o volume do produto  $i \in I$ , embarcado na planta  $j \in J$  que é enviado ao ponto de demanda  $l \in L$  via facilidade  $k \in K$ , seja ainda  $y_{kl}$  uma variável binária que se  $y_{kl} = 1$ , a facilidade  $k \in K$  cobre (atende) o ponto de demanda  $l \in L$ , caso contrário  $y_{kl} = 0$ ; e por último, seja  $z_k$  também uma variável binária que se  $z_k = 1$  a facilidade  $k \in K$  é aberta, caso contrário  $z_k = 0$ .

Assim, o modelo matemático apresentado por GEOFFRION e GRAVES (1974) é descrito conforme apresentado a seguir.

**Minimizar:**

$$v(PLMultiProdutoGG) = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} c_{ijkl} x_{ijkl} + \sum_{k \in K} \left( f_k z_k + v_k \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} h_{il} y_{kl} \right) \quad (4.35)$$

**Sujeito a:**

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} x_{ijkl} = S_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (4.36)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijkl} = h_{il} y_{kl} \quad \forall i \in I, k \in K, l \in L \quad (4.37)$$

$$\sum_{k \in K} y_{kl} = 1 \quad \forall l \in L \quad (4.38)$$

$$\underline{V}_k z_k \leq \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} h_{il} y_{kl} \leq \bar{V}_k z_k \quad \forall k \in k \quad (4.39)$$

$$x_{ijkl} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L \quad (4.40)$$

$$y_{kl} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, l \in L \quad (4.41)$$

$$z_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K \quad (4.42)$$



A função objetivo (4.35) inclui todos os custos e deve ser minimizada. As restrições (4.36) garantem que toda a quantidade de produtos  $i \in I$  embarcada na planta  $j \in J$  e recebida pela facilidade  $k \in K$  com destino ao ponto de demanda  $l \in L$ , deve ser menor ou igual à quantidade de produtos  $i$  ofertada pela planta  $j$ .

As restrições (4.37) garantem que toda a quantidade embarcada de todas as plantas  $j \in J$  para a facilidade  $k \in K$ , será igual à demanda do ponto de demanda  $l \in L$ , caso seja aberta uma facilidade em  $k$  que possa atender ao ponto  $l$ . As restrições (4.38) garantem que somente uma facilidade  $k \in K$  servirá ao ponto de demanda  $l \in L$ .

As restrições (4.39) garantem que o volume de produtos que utilizam a facilidade  $k \in K$  está entre os valores mínimo e máximo estipulados para a facilidade. As restrições (4.40)-(4.42) são aplicadas aos domínios das variáveis de decisão.

Por se caracterizar em um problema multicamadas, se aproxima mais ao problema real que se busca representar nesta Tese, ou seja, a distribuição de produção de I para L com utilização de uma facilidade (intermediária) K.

Existem na literatura diversos trabalhos que expandiram o trabalho de GEOFFRION e GRAVES (1974) para incorporar novas características como LOVE *et al.* (1988), PIRKUL e JAYARAMAN (1998), GOETSCHALCKX (2011), DUBKE (2006) e TANG *et al.* (2013). Em DUBKE (2006), por exemplo, o autor propõe um modelo de localização de terminais logísticos e faz uma aplicação interessante para o escoamento da soja brasileira.

Assim como no trabalho de GEOFFRION e GRAVES (1974), o modelo matemático proposto por DUBKE (2006) possui três camadas, sendo elas, pontos fornecedores de insumos (“plantas”), pontos candidatos a receberem os terminais (facilidades), e pontos de demanda (destinos).

Assim, de maneira geral, neste modelo os insumos são enviados para os terminais que, por sua vez, os transformam agregando valor e os produtos derivados são então enviados aos pontos de demanda.

Os terminais possuem serviços especializados para atuar no processamento dos insumos a fim de obter produtos. Neste modelo, seja  $J$  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  $j \in J$ .

Seja ainda  $c_{ijm}^{inbound}$  o custo unitário de transporte *inbound* do insumo  $m \in M$  de uma origem  $i \in I$  para uma facilidade  $j \in J$ , e  $c_{jksq}^{outbound}$  o custo unitário de transporte *outbound* do produto  $q \in Q$  de uma facilidade  $j \in J$  para o destino  $k \in K$ .

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  $\alpha_{ism}^{serv}$  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  $s \in S$ . Considere também que o ponto de origem  $i \in I$  tem uma oferta máxima do insumo  $m \in M$  representada por  $S_{im}$ .

Com relação à receita obtida com os produtos, seja  $p_{qk}$  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  $q \in Q$ . Seja ainda  $\beta_{jsmq}$  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, seja  $x_{ijm}^{inbound} \geq 0$  uma 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  $s \in S$ ,  $x_{jksq}^{outbound} \geq 0$  uma 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  $k \in K$ , seja  $y_j \in \{0,1\}$  uma 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,  $y_j = 0$ , e por último seja  $y_{js}^{serv} \in \{0,1\}$  outra variável binária que se  $y_{js}^{serv} = 1$  o serviço  $s \in S$  deve ser oferecido na facilidade  $j \in J$ , caso contrário  $y_{js}^{serv} = 0$ .

Desta forma, DUBKE (2006) propôs um modelo matemático que busca maximizar o lucro total, determinando quais facilidades devem ser abertas, os fluxos *inbound* e os fluxos *outbound*. Este modelo está apresentado a seguir.

**Maximizar:**

$$v(PLMultiProdutoDubke) = \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{q \in Q} \sum_{s \in S} p_{kq} x_{jksq}^{outbound} - \sum_{j \in J} \left( \begin{aligned} & f_j y_j + g_{js}^{serv} y_{js}^{serv} + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} c_{ijm}^{inbound} \sum_{s \in S} x_{ijsm}^{inbound} \\ & + \sum_{s \in S} \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \alpha_{jism}^{serv} x_{ijsm}^{inbound} \sum_{k \in K} \sum_{q \in Q} c_{jksq}^{outbound} \sum_{s \in S} x_{jksq}^{outbound} \end{aligned} \right) \quad (4.43)$$

**Sujeito a:**

$$\sum_{j \in J} \sum_{s \in S} x_{ijsm}^{inbound} \leq S_{im} \quad \forall i \in I, m \in M \quad (4.44)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{s \in S} x_{jksq}^{outbound} = h_{kq} \quad \forall k \in K, q \in Q \quad (4.45)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{i \in I} x_{ijsm}^{inbound} \leq w_{js} y_{js}^{serv} \quad \forall j \in J, s \in S \quad (4.46)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} x_{ijsm}^{inbound} \leq W_j y_j \quad \forall j \in J \quad (4.47)$$

$$y_{js}^{serv} \leq y_j \quad \forall j \in J, s \in S \quad (4.48)$$

$$\beta_{jismq} \sum_{i \in I} x_{ijsm}^{inbound} = \sum_{k \in K} x_{jksq}^{outbound} \quad \forall j \in J, s \in S, m \in M, q \in Q \quad (4.49)$$

$$\sum_{j \in J} y_j \leq p \quad (4.50)$$

$$x_{ijsm}^{inbound} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, s \in S, m \in M \quad (4.51)$$

$$x_{jksq}^{outbound} \geq 0 \quad \forall j \in J, k \in K, s \in S, q \in Q \quad (4.52)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (4.53)$$

$$y_{js}^{serv} \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, s \in S \quad (4.54)$$

A função objetivo (4.43) busca maximizar o lucro total. As restrições definidas em (4.44) 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  $i \in I$ . As restrições (4.45) asseguram que a demanda

do destino  $k \in K$  seja satisfeita, assumindo-se que o volume total do produto  $q \in Q$  deixando a facilidade  $j \in J$  seja igual ao total demandado em  $k \in K$ .

As restrições (4.46) 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, e as restrições (4.47) garantem 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. As restrições (4.48) estabelecem que a variável de decisão  $y_{js}^{serv}$  só poderá receber 1 se a variável de decisão  $y_j$  for igual a 1. As restrições (4.49), denominadas equações de conservação de fluxo, representam o equilíbrio entre toda a quantidade recebida e enviada pela facilidade  $j \in J$ .

Há que se considerar que foi imposto um parâmetro  $\beta_{jsmq}$  ao volume de insumos  $m \in M$  que serão transformados (ou não) em produtos  $q \in Q$  na facilidade  $j \in J$ . Este coeficiente é empregado para o caso de haver processamento ou beneficiamento que represente qualquer alteração no volume transportado. Já a restrição (4.50) foi empregada por DUBKE (2006) para limitar em  $p$  o número de facilidades utilizadas, similar ao tradicional problema de  $p$ -medianas apresentado anteriormente. Finalmente, as restrições (4.51)-(4.52) estão associadas aos domínios das variáveis de decisão.

DUBKE (2006) aplicou o modelo (4.43)-(4.54) na localização de terminais para atender a cadeia brasileira de soja. Com dados de 2004, o autor considera seis pontos de origem de soja em grãos no Brasil: Açailândia (MA), Araguari (MG), Campo Grande (MT), Cuiabá (MS), Dourados (MS), Londrina (PR); seis portos de escoamento / beneficiamento / transbordo (candidatos a terminais); e três portos de destino no exterior.

Esses seis pontos de origem foram escolhidos por representarem os locais de maior concentração de carga no país, que são escoados pelo modo rodo-ferroviário para os seis principais portos de transbordo dessa cadeia produtiva no Brasil à época (Itaqui – MA, Tubarão – ES, Santos – SP, Paranaguá – PR, São Francisco do Sul – SC e Rio Grande – RS), podendo haver transporte rodoviário entre as localidades de origem e o terminal ferroviário mais próximo.

Os três portos de destino escolhidos foram Roterdã - Holanda, Hamburgo - Alemanha e Xangai - China por representarem os maiores portos de destino das cargas no exterior. Embora existissem à época outros pontos de origem de soja no Brasil, utilizando

outras formas de escoamento (modo hidroviário, por exemplo), DUBKE (2006) optou por esta amostra (combinação de modos rodo-ferroviário e marítimo) pela facilidade de coleta de dados, principalmente no tocante aos dados da oferta do produto na origem. O autor buscou os dados para aplicação do modelo (4.43)-(4.54) a partir da bibliografia disponibilizada e de consulta às empresas que fazem o transporte *inbound* (ferroviário e rodoviário) e *outbound* (marítimo). Quanto aos dados portuários, ela buscou as informações públicas mais recentes e junto aos técnicos das empresas operadoras.

A maioria dos dados consta dos bancos de informação do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio – MDIC, do Ministério da Agricultura – MA, da Agência Reguladora de Transportes Terrestres – ANTT, da base de dados do GEIPOT, nos bancos de informações de algumas Cia. Docas e de concessionárias de serviços ferroviários (Brasil Ferrovias, América Latina Logística – ALL, Ferrovia Centro Atlântica – FCA, Estrada de Ferro Carajás – EFC e Estrada de Ferro Vitória a Minas – EFVM).

No estudo de caso realizado por DUBKE (2006), soja em grão era enviada dos pontos de origem aos terminais (ou seja, um único insumo foi utilizado), que então se “transformava” em três produtos: óleo, farelo e soja. Sendo assim, três serviços eram oferecidos nos terminais: produção de óleo de soja, esmagamento de soja em farelo, e armazenagem de soja.

Por fim, existem outras aplicações práticas, mas que não serão aqui apresentadas. Assim, uma boa revisão sobre problemas de localização com aplicações pode ser obtida em HANDLER e MIRCHANDANI (1979), LOVE *et al.* (1988), DASKIN (1995), KLOSE e DREXL (2005), NICKEL e PUERTO (2005); SIRIKIJPANICHKUL e FERREIRA (2005), REVELLE *et al.* (2008), CHURCH e MURRAY (2009), MELO *et al.* (2009), FARAHANI *et al.* (2010), e VASCONCELOS (2009).

#### **4.5. PROJETO DE REDES LOGÍSTICAS**

O projeto de uma rede logística (em inglês, *Logistics Network Design*) é uma decisão importante no gerenciamento de uma cadeia de suprimentos. Decidir o número de instalações, a localização e a capacidade de cada uma delas, bem como o fluxo entre elas, afeta tanto os custos como o nível de serviço oferecido ao consumidor (PISHVAEE *et al.*, 2010a; AMIRI, 2006).

As redes logísticas tem relação direta com os conceitos apresentados nas seções anteriores, conforme será visto nesta seção. Dentro da cadeia de suprimentos, a satisfação do cliente é uma questão importante e deve ser levada em consideração, porém deve-se equilibrar o nível de serviço ofertado e os custos envolvidos.

De maneira geral, busca-se maximizar o nível de serviço ofertado e ao mesmo tempo minimizar os custos envolvidos, sendo que estes dois objetivos são conflitantes. O nível de serviço ofertado frente ao cliente pode ser avaliado conforme a taxa de retorno de produtos na rede logística.

Assim, nas duas últimas décadas, a logística reversa tem ganhado força, pois o planejamento e a implementação de uma boa rede logística reversa pode proporcionar aumento dos lucros, da satisfação do cliente e da imagem social da empresa (PISHVAEE *et al.*, 2010b; JAYARAMAN e PIRKUL, 2001).

No entanto, pouca pesquisa tem sido dedicada para o planejamento e otimização de sistemas de logística reversa para projetos de rede, especialmente quando os dois tipos de fluxo devem ser considerados simultaneamente: os fluxos diretos, correspondentes à distribuição tradicional de bens, e os fluxos reversos, correspondentes a coleta de produtos enviados de volta a partir dos clientes, seja por terem chegado ao final da vida útil, por motivos de insatisfação ou ainda por motivos de garantia (LU e BOSTEL, 2007; AMIRI, 2006).

Alguns projetos de redes logísticas com fluxos diretos e reversos contam com quatro tipos de integrantes dentro da cadeia: clientes, centros intermediários, centros de remanufatura e produtores, onde o objetivo é minimizar custos, tanto fixos como variáveis (LU e BOSTEL, 2007).

Contudo, no mundo real os problemas do projeto de uma rede logística são frequentemente caracterizados por múltiplos objetivos. A minimização dos custos e a maximização do nível de serviço são os mais comuns. Por serem normalmente conflitantes, eles acabam sendo utilizados isoladamente. O resultado é um projeto sub-ótimo em relação a custos, níveis de serviço e de atendimento (PISHVAEE *et al.*, 2010a, 2010b).

PISHVAEE *et al.* (2010a) propuseram um modelo integrado biobjetivo que considera a rede direta e reversa, incluindo as instalações de produção, distribuição, varejo, coleta/inspeção, recuperação e descarte com níveis múltiplos de capacidade. Os

autores consideram a minimização dos custos de distribuição do fluxo direto e a maximização do nível de serviço junto ao cliente no fluxo reverso.

O problema, objeto de estudo de PISHVAEE *et al.* (2010a), pode ser assim descrito. Os produtos novos são enviados dos centros de produção para o varejo através dos centros de distribuição. A localização do varejo é considerada fixa e pré-determinada.

No fluxo reverso, os produtos retornados são coletados nos centros de coleta/inspeção e, depois de avaliados, os produtos aproveitáveis são enviados para os centros de recuperação, os demais vão para os centros de descarte.

Neste problema, dadas as demandas oriundas dos varejistas, procura-se determinar quais centros de produção/recuperação, de distribuição, e de descarte devem ser abertos e em quais níveis de capacidade. Para exemplificar a complexidade dos modelos matemáticos deste tipo de problema de localização, o modelo matemático de PISHVAEE *et al.* (2010a) será apresentado na sequência.

Então, seja:

- $I$  o conjunto das potenciais localizações dos centros de produção/recuperação  $i \in I$ ;
- $J$  o conjunto das potenciais localizações dos centros de distribuição  $j \in J$ ;
- $K$  o conjunto dos locais fixos dos varejos  $k \in K$ ;
- $L$  o conjunto das potenciais localizações dos centros de coleta/inspeção  $l \in L$ ;
- $M$  o conjunto das potenciais localizações dos centros de descarte  $m \in M$ ;
- $N$  o conjunto dos níveis de capacidade disponível para as instalações  $n, n' \in N$ ; e
- $E$  o conjunto de locais que funcionam como centros de coleta/inspeção e centros de distribuição ao mesmo tempo  $e \in E, E \subset J, E \subset L$ .

Com relação aos parâmetros, seja:

- $d_k$  a demanda do varejista  $k \in K$ ;
- $r_k$  a taxa de retorno de produtos do varejista  $k \in K$ ;
- $s$  a fração média de descarte;
- $f_i^n$  os custos fixos de abertura de um centro de produção/recuperação  $i \in I$  com nível de capacidade  $n \in N$ ;
- $o_j^n$  os custos fixos de abertura de um centro de distribuição  $j \in J$  com nível de capacidade  $n \in N$ ;

- $h_l^n$  os custos fixos de abertura de um centro de coleta/inspeção  $l \in L$  com nível de capacidade  $n \in N$ ;
- $a_m^n$  os custos fixos de abertura de um centro de descarte  $m \in M$  com nível de capacidade  $n \in N$ ;
- $f_e^{nn'}$  a redução de custos fixos associados com abertura do centro de distribuição com nível de capacidade  $n \in N$  e centro de coleta/inspeção com capacidade  $n' \in N$  na localização  $e \in E$ ;
- $cx_{ij}$  o custo de transporte por unidade de produtos do centro de produção/recuperação  $i \in I$  para o centro de distribuição  $j \in J$ ;
- $cu_{jk}$  o custo de transporte por unidade de produtos do centro de distribuição  $j \in J$  para o varejista  $k \in K$ ;
- $cq_{kl}$  o custo de transporte por unidade de produtos retornados do varejista  $k \in K$  para o centro de coleta/inspeção  $l \in L$ ;
- $cq_{li}$  o custo de transporte por unidade de produtos recuperáveis do centro de coleta/inspeção  $l \in L$  para o centro de produção/recuperação  $i \in I$ ;
- $ct_{lm}$  o custo de transporte por unidade de produtos descartados do centro de coleta/inspeção  $l \in L$  para o centro de descarte  $m \in M$ ;
- $caw_i^n$  a capacidade de produção com nível  $n \in N$  para o centro de produção/recuperação  $i \in I$ ;
- $cay_j^n$  a capacidade com nível  $n \in N$  para o centro de distribuição  $j \in J$ ;
- $caz_l^n$  a capacidade com nível  $n \in N$  para o centro de coleta/inspeção  $l \in L$ ;
- $cav_m^n$  a capacidade com nível  $n \in N$  para o centro de descarte  $m \in M$ ;
- $car_i^n$  a capacidade do centro de recuperação com nível  $n \in N$  para o centro de recuperação  $i \in I$ ;
- $tf_{jk}$  o tempo de entrega do centro de distribuição  $j \in J$  para o varejista  $k \in K$ ;
- $tr_{kl}$  o tempo de coleta do varejista  $k \in K$  para o centro de coleta/inspeção  $l \in L$ ;
- $Res_f$  o tempo de entrega esperado na rede direta;
- $Res_r$  o tempo de coleta esperado na rede reversa;
- $D_{fk} = \{j/ tf_{jk} \leq Res_f\}$ ;
- $D_{rk} = \{l/ tr_{kl} \leq Res_r\}$ ;
- $\beta$  um número grande o bastante ( $\beta \geq s * \sum_{k \in K} r_k d_k$ ); e
- $\rho$  fator de peso (importância) para o nível de serviço direto no segundo objetivo



da função, sendo que  $(1 - \rho)$  denota o peso para o nível de serviço reverso.

Com relação às variáveis de decisão, seja:

- $X_{ij} \geq 0$  a quantidade de produtos transportados do centro de produção/recuperação  $i \in I$  para o centro de distribuição  $j \in J$ ;
- $U_{jk} \geq 0$  a quantidade de produtos transportados do centro de distribuição  $j \in J$  para o varejista  $k \in K$ ;
- $Q_{kl} \geq 0$  a quantidade de produtos retornados transportados do varejista  $k \in K$  para o centro de coleta/inspeção  $l \in L$ ;
- $P_{li} \geq 0$  a quantidade de produtos recuperados transportados do centro de coleta/inspeção  $l \in L$  para o centro de produção/recuperação  $i \in I$ ;
- $T_{lm}$  a quantidade de produtos descartados transportados do centro de inspeção/coleta  $l \in L$  para o centro de descarte  $m \in M$ ;
- $W_i^n$  uma variável binária tal que se  $W_i^n = 1$ , um centro de produção/recuperação com capacidade  $n \in N$  é aberto na localização  $i \in I$ , e  $W_i^n = 0$  caso contrário;
- $Y_j^n$  uma variável binária tal que se  $Y_j^n = 1$ , um centro de distribuição com capacidade  $n \in N$  é aberto na localização  $j \in J$ , e  $Y_j^n = 0$  caso contrário;
- $Z_l^n$  uma variável binária tal que se  $Z_l^n = 1$ , um centro de coleta/inspeção com capacidade  $n \in N$  é aberto na localização  $l \in L$ ,  $Z_l^n = 0$  caso contrário; e
- $V_m^n$  uma variável binária tal que se  $V_m^n = 1$ , um centro de descarte com capacidade  $n \in N$  é aberto na localização  $m \in M$ ,  $V_m^n = 0$  caso contrário.

Abaixo está o modelo matemático proposto por PISHVAEE *et al.* (2010a). Cabem destacar duas funções objetivo do modelo.

**Minimizar:**

$$\begin{aligned}
 v(W_1) = & \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} f_i^n w_i^n + \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} o_j^n y_j^n + \sum_{l \in L} \sum_{n \in N} h_l^n z_l^n + \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} a_m^n v_m^n \\
 & - \sum_{e \in E} \sum_{n' \in N} \sum_{n \in N} f_e^{nn'} z_e^{n'} y_e^n + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} cx_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} cu_{jk} u_{jk} \\
 & + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} cq_{kl} q_{kl} + \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} ct_{lm} t_{lm} + \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} cp_{li} p_{li}
 \end{aligned} \tag{4.55}$$

**Maximizar:**

$$v(W_2) = \rho \left( \sum_{j \in J} \sum_{k \in D_{f_k}} u_{jk} \right) / \left( \sum_{k \in K} d_k \right) + (1 - \rho) \left( \sum_{k \in D_{r_k}} \sum_{l \in L} q_{kl} \right) / \left( \sum_{k \in K} r_k d_k \right) \quad (4.56)$$

**Sujeito a:**

$$\sum_{j \in J} u_{jk} = d_k \quad \forall k \in K \quad (4.57)$$

$$\sum_{l \in L} q_{kl} = r_k d_k \quad \forall k \in K \quad (4.58)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = \sum_{k \in K} u_{jk} \quad \forall j \in J \quad (4.59)$$

$$\sum_{m \in M} t_{lm} = s \sum_{k \in K} q_{kl} \quad \forall l \in L \quad (4.60)$$

$$\sum_{i \in I} p_{li} = (1 - s) \sum_{k \in K} q_{kl} \quad \forall l \in L \quad (4.61)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq \sum_{n \in N} caw_i^n w_i^n \quad \forall i \in I \quad (4.62)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ij} \leq \sum_{n \in N} cay_j^n Y_j^n \quad \forall j \in J \quad (4.63)$$

$$\sum_{k \in K} U_{jk} \leq \sum_{n \in N} cay_j^n Y_j^n \quad \forall j \in J \quad (4.64)$$

$$\sum_{k \in K} q_{kl} \leq \sum_{n \in N} caz_l^n z_l^n \quad \forall l \in L \quad (4.65)$$

$$\sum_{l \in L} t \leq \sum_{n \in N} cav_m^n v_m^n \quad \forall m \in M \quad (4.66)$$

$$\sum_{l \in L} p_{li} \leq \sum_{n \in N} car_i^n w_i^n \quad \forall i \in I \quad (4.67)$$

$$\sum_{m \in M} t_{lm} + \sum_{i \in I} p_{li} \leq \sum_{n \in N} caz_l^n z_l^n \quad \forall l \in L \quad (4.68)$$

$$\sum_{l \in L} p_{li} \leq \beta \sum_{j \in J} x_{ij} \quad \forall i \in I \quad (4.69)$$

$$\sum_{n \in N} w_i^n \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (4.70)$$

$$\sum_{n \in N} y_j^n \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (4.71)$$

$$\sum_{n \in N} z_l^n \leq 1 \quad \forall l \in L \quad (4.72)$$

$$\sum_{n \in N} v_m^n \leq 1 \quad \forall m \in M \quad (4.73)$$

$$w_i^n, y_j^n, z_l^n, v_m^n \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J, l \in L \quad (4.74)$$

$$\forall m \in M, n \in N$$

$$x_{ij}, u_{jk}, q_{kl}, t_{lm}, p_{li} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, l \in L \quad (4.75)$$

$$\forall m \in M, n \in N$$

A função objetivo (4.55) minimiza o custo total incluindo custos fixos de abertura, de transporte e busca a redução dos custos obtidos com a integração das instalações de distribuição e coleta/inspeção na mesma localização. A função objetivo (4.56) maximiza o nível de serviço direto e reverso da rede.

As restrições (4.57) e (4.58) garantem que a demanda de todos os clientes sejam satisfeitas e que todos os produtos retornados dos varejistas sejam coletados. As equações (4.59)-(4.61) asseguram o balanço do fluxo nos centros de produção/recuperação, distribuição, coleta/inspeção, descarte e varejo.

As restrições (4.62)-(4.69) são as restrições de capacidade das instalações. As restrições (4.70)-(4.73) garantem que cada instalação tem, no máximo, um nível de capacidade. Por último, as restrições (4.74) e (4.75) cumprem as restrições binárias e de não negatividade das variáveis de decisão correspondentes.

Uma aplicação dos modelos matemáticos em redes logísticas pode ser visto em VASCONCELOS (2009), que propõem um modelo de localização de terminais concentradores – *Hubs* em redes de transporte.

#### 4.6. LOCALIZAÇÃO DE CIL EM REDES MULTIMODAIS

Com base nos modelos matemáticos apresentados anteriormente, percebe-se que os CIL, ao serem instalados em redes multimodais, podem concentrar cargas, contribuindo assim para a redução dos custos logísticos.

Considerando um ambiente de planejamento estratégico governamental, ou seja, um problema macroscópico e normativo, ressalta-se que a abordagem a ser seguida deve considerar apenas a redução de custos, no caso custos de transporte, visto que a visão de Governo não pode ser centrada em aumento de lucro, o que por sua vez, poderia ser abordado ao se estudar o mesmo problema sob a ótica dos operadores / empresários do setor de transportes.

Estes modelos podem ser adaptados para a realidade de aplicação desta Tese que busca estudar o impacto da localização de CIL no planejamento de transportes. Porém, a escolha do tipo de modelo a ser empregado está diretamente relacionada ao objetivo do estudo e depende da disponibilidade de informações para a sua correta aplicação.

Foram apresentados modelos matemáticos variados, desde os mais condensados, como o problema de  $p$ -medianas, até os mais complexos como os presentes nas redes logísticas. Cabe destacar aqui que o termo condensado diz respeito à notação canônica reduzida do modelo matemático, e não à sua complexidade, pois se sabe que o problema de  $p$ -medianas é do tipo NP-Hard (*non-deterministic polynomial-time hard*), ou seja, pelo menos tão difíceis quanto os problemas mais difíceis em NP (*non-polynomial*).

Porém ao optar por um modelo, devem-se levar em consideração alguns fatores importantes, dentre eles, os critérios que levam a identificar os possíveis pontos para receberem as facilidades, o tipo de estrutura de integração logística que se pretende instalar, as características da produção e consumo, a quantidade de produtos e também as formas de transporte disponíveis.

No caso específico dos CIL, vários fatores tangíveis e intangíveis devem ser levados em consideração para pré-determinar os locais candidatos, inclusive os aspectos ambientais, bem como, no caso desta Tese, os atributos operacionais e de custos da rede georeferenciada multimodal para integração dos resultados de localização-alocação ao PNLT.

Assim, para que se cumpra o objetivo da Tese, além da escolha da formulação matemática mais adequada, é necessário prever sua integração à rede de transporte georeferenciada, de forma a adequar os resultados do modelo de localização-alocação, à ferramenta de Planejamento Governamental de infraestrutura de transportes do Brasil.

#### **4.7 USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA LOCALIZAÇÃO-ALOCAÇÃO DE CIL**

Problemas de localização-alocação de facilidades ou instalações são, em geral, problemas complexos, por envolverem um grande número de variáveis e grandes volumes de dados. À medida que a complexidade do problema aumenta, os estudos de localização necessitam de novas tecnologias de informação, que permitam tratar os sistemas de forma efetivamente integrada (LACERDA, 1999).

Os Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao Transporte – SIG-T, são uma classe especial dos SIG aplicados na área de planejamento e operação de transporte. Dentre suas diversas funcionalidades, possuem módulos dedicados à localização de facilidades.

Desta forma, as ferramentas de um SIG-T podem naturalmente ser utilizadas para estudar as melhores localizações de facilidades, públicas ou privadas, tais como fábricas, zonas de produção, centros de distribuição, escolas ou creches, e as melhores distribuições dos clientes, das zonas de consumo a estas unidades, buscando reduzir os custos de deslocamento ou transporte.

LIMA (2003) afirma que os modelos de localização de instalações, têm sido propostos por meio de ferramentas de auxílio à decisão espacial, principalmente quando uma base de dados geograficamente referenciada se encontra disponível.

E, neste caso, os SIG são de significativa importância na coleta e análise desses dados, pois integram uma sofisticada interface gráfica a uma base de dados geograficamente referenciada, constituindo-se em poderosas ferramentas de análise e planejamento espacial.

Neste contexto, diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos na área de logística, localização de instalações e roteirização de veículos usando SIG, algumas vezes combinados com outras técnicas matemáticas, sejam elas aplicadas ao setor público ou privado.

No caso específico do setor privado, o objetivo principal é a minimização de custos logísticos. Em indústrias, atacadistas, varejistas e distribuidores, por exemplo, para se decidir o melhor local para instalar uma unidade, seja uma planta de produção, uma loja, um centro de distribuição ou armazenagem, deve-se sempre levar em consideração o posicionamento do mercado consumidor e de seus fornecedores, a disponibilidade de infraestrutura, de mão de obra e de vários outros fatores que afetam a produção (LORENA *et al.* 2001).

Segundo LORENA *et al.* (2001), os SIG, auxiliam na resolução dos problemas de localização-alocação pela sua grande capacidade em armazenar, exibir e manipular dados espacialmente distribuídos. Essa capacidade aumenta consideravelmente quando se faz o uso combinado com técnicas de Pesquisa Operacional.

Além de suportar uma base de dados espaciais, os SIG têm a capacidade de transformá-las em novas informações, promovendo a integração entre as diversas informações, provenientes de diferentes fontes. O principal elemento desta integração é a ligação que se faz entre dados não espaciais, ou dados de atributos, a dados espaciais, ou geográficos (LIMA, 2003).

GU *et al.* (2009) apresentam uma nova classe de problemas de localização-alocação de instalações por considerar a determinação do posicionamento ótimo de dois tipos de instalações, estáticas e de transporte, de forma a atender determinada região a um custo mínimo. No trabalho citado, considera-se a localização de hospitais como instalação estática e a localização de ambulâncias como instalações de transporte. A localização das instalações ditas de transporte é dependente da localização das instalações estáticas e da demanda.

Os autores propuseram uma plataforma SIG combinada com um algoritmo heurístico personalizado para resolver o problema, sendo os resultados disponibilizados em uma interface gráfica amigável, usando assim vários recursos do SIG no desenvolvimento e aplicação em modelos de localização.

BIBERACHER (2008) desenvolveu um modelo baseado em SIG para a localização de sistemas de energia eólica, solar e hidráulica relacionada com as características temporais, de suprimento e de demanda mundiais, tendo por objetivo a localização de fontes de energia para suprir a demanda global do século XXI.

MAPA *et al.* (2007) aponta exemplos de aplicação de SIG em estudos de localização em: PIZZOLATO e SILVA (1997), que fazem um estudo da localização atual e uma proposta de reposicionamento de escolas públicas em municípios brasileiros; LIMA (2003), que estudou a localização de creches e postos de saúde em regiões urbanas utilizando os modelos de localização do SIG; NARUO (2003), que fez um estudo de localização de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários; DOBRUSKY (2003), que localiza centros de *cross-docking* para uma rede de produtos farmacêuticos; SILVA (2004), que estuda a localização de terminais de consolidação para uma empresa de transporte de carga parcelada; HAMAD (2006), que desenvolveu um modelo de localização de fábricas e/ou depósitos em escala global para corporações transnacionais; ZAMBON *et al.* (2005), que aplicaram análise de decisão multicritério na localização de usinas termelétricas utilizando SIG-T; ARAKAKI e LORENA (2006), que desenvolveram uma heurística integrada ao SIG de localização-alocação para problemas de localização de máxima cobertura e de p-medianas; CARNASCIALI e DELAZARI (2007), que integrou o SIG ArcGIS e um sistema especialista para auxiliar a localização de agências bancárias.

Além destes destaca-se o trabalho de VASCONCELOS (2009) que apresenta o desenvolvimento de um modelo do problema Não-Capacitado de localização de Hubs em rede sob gerenciamento descentralizado, incluindo sua formulação de programação linear inteira e um experimento com sua aplicação ao transporte intermodal de carga geral no Brasil, baseado na rede multimodal georeferenciada do PNLT.

WATERS (1999) em uma revisão sobre o uso de SIG-T, aponta que o uso de modelos de localização-alocação tem sido amplamente difundido desde os anos 60, e que seu uso incorporando os procedimentos e rotinas ao SIG-T tem sido difundido a partir do trabalho de DRESNER (1995) *apud* WATERS (1999). O autor aponta que os trabalhos de CHURCH e SORENSEN (1996) e de DENSHAM (1996) proporcionam discussões detalhadas e atualizações sobre o uso de modelos de localização-alocação dentro de um contexto de SIG.

MAPA e LIMA (2012) afirmam que a resolução de problemas de localização-alocação em ambiente SIG é bastante descomplicada, pela facilidade de obtenção de dados de natureza espacial (distâncias e localizações, entre outros) e da alta capacidade do SIG de gerar resultados gráficos.

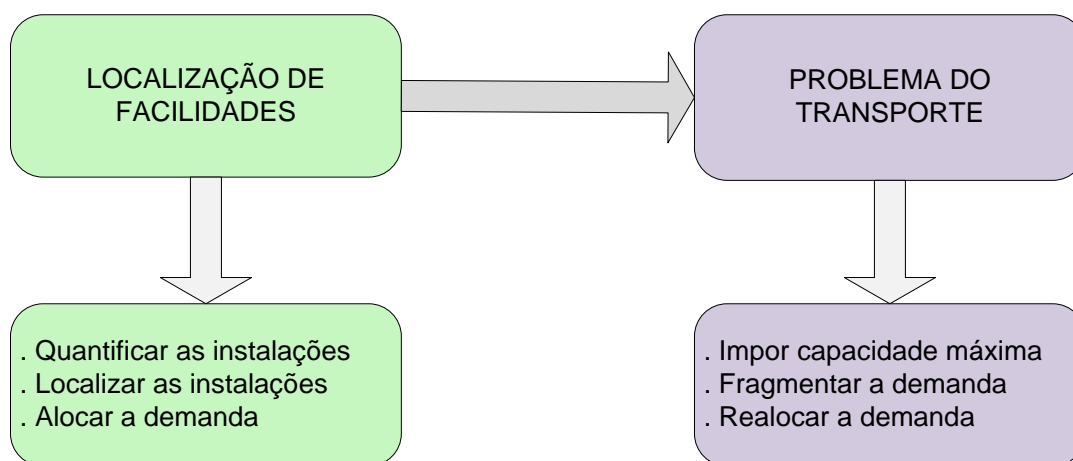
#### 4.7.1. Solução de localização-alocação do *software* TransCAD

Por se tratar de um SIG voltado para o planejamento de transportes, o *software* *TransCAD* (CALIPER, 2011) possui rotinas implementadas para tratar da localização de facilidades e do problema de alocação de recursos com restrição de capacidade das instalações. Estas rotinas são encontradas no módulo do *software* que trata de logística.

Dentre as possíveis alternativas apresentadas no módulo citado, existem três rotinas que se enquadram na abordagem adotada para o tratamento do problema: criação da matriz de custos, localização de facilidades e problema do transporte.

Para um melhor resultado na aplicação do método de localização-alocação de instalações utilizando-se o *software* *TransCAD*, é necessário, contudo, a junção de duas rotinas de forma sequencial, ou seja, aplicam-se os resultados de uma para alimentar a outra, permitindo assim que se obtenha um resultado mais próximo ao desejado.

Em MAPA *et al.* (2006), se verifica a possibilidade de utilização do SIG *TransCAD* para a resolução do problema de localização-alocação de instalações, avaliando o uso da combinação das rotinas localização de facilidades (*facility location*) e problema do transporte (*transport problem*), existentes no *software*. A Figura 4.5 ilustra a sequência de rotinas para resolução do problema de localização-alocação, segundo o modelo *TransCAD*.



Fonte: Adaptado de MAPA *et al.* (2006).

**Figura 4.5** – Solução de problemas de localização-alocação com uso do *software* *TransCAD*.



MAPA e LIMA (2012) afirmam que a rotina de “*localização de facilidades*” do *TransCAD*, inclui a abertura de novas unidades ou fechamento das já existentes, buscando definir o número de instalações em operação, suas respectivas localizações, e a melhor alocação possível entre uma série de clientes às instalações, visando minimizar os custos de deslocamentos.

Assim, a primeira rotina identifica as melhores localizações a partir da abertura de novas instalações ou fechamento de facilidades já existentes (*Facility Location – FL*), porém sem levar em consideração a capacidade máxima de operação das instalações. Além disto, esta rotina aloca a demanda total de cada cliente a uma determinada facilidade, não sendo capaz de fragmentar as demandas, ou seja, faz com que cada cliente seja atendido por uma única instalação.

Sendo assim, nesta rotina são geradas duas saídas primárias: a localização das novas instalações abertas (ou fechadas, se for o caso) e a respectiva alocação entre os clientes, de maneira que um centro de oferta possa atender vários centros de demandas, porém um centro de demanda será abastecido por um único centro de oferta, sem levar em consideração um limite máximo de capacidade das instalações (MAPA, 2007).

Como esta não é uma prática comum no mercado atual, onde um cliente pode ter sua demanda atendida por mais de um fornecedor, a rotina “*problema do transporte*”, deve ser executada na sequência. Assim, para se impor a restrição de limite de capacidade, utilizando-se o *software TransCAD*, faz-se necessário uma segunda etapa, na qual se submete a solução da rotina *Facility Location – FL* à rotina *Transportation Problem – TP*. Desta maneira, a solução da rotina *FL* se torna a entrada da rotina *TP*, que irá realocar a demanda à oferta segundo o critério de limite máximo de capacidade das instalações.

Como a rotina *TP* do *TransCAD* não admite mais a abertura ou fechamento das instalações previamente geradas na rotina *FL*, estas ficam pré-condicionadas à configuração inicial, fator que pode comprometer a qualidade da solução final, visto que a escolha de abertura/fechamento de novas instalações é certamente condicionada às suas respectivas capacidades.

É necessário considerar que ambas as rotinas trabalham com algoritmos heurísticos na busca das soluções e, conseqüentemente, não é possível garantir que a solução encontrada após a utilização das duas rotinas seja a solução ótima.

MAPA *et al.* (2006) apresenta um estudo de caso prático onde compara a qualidade dos resultados quando da utilização das rotinas do *TransCAD* de forma conjunta versus a utilização de um modelo de Programação Linear Inteira Mista – PLIM. O autor afirma que, com relação à qualidade e precisão das soluções, ao se comparar os resultados dos modelos SIG (*TransCAD*) e PLIM, em um primeiro momento, os dois se comportam de forma semelhante, sendo as soluções de localização e alocação produzidas pelo modelo SIG, em sua rotina FL, iguais às soluções geradas pelo modelo PLIM, em sua rotina “sem restrição de capacidade”, concluindo que a heurística embutida no *TransCAD* para a rotina FL foi eficiente, uma vez que convergiu para a solução matemática ótima em todos os cenários.

No entanto, ao se analisar o modelo SIG, em sua rotina TP, e o modelo PLIM, em sua rotina “com restrição de capacidade”, MAPA (2007) afirma que as soluções de alguns cenários simulados geraram localizações e respectivas alocações distintas, sendo as soluções obtidas pelo modelo PLIM mais econômicas, do ponto de vista do transporte.

Estas reduções de custos, relativa à diferença entre os modelos SIG e PLIM, foram da ordem de 8%, 23% e 37%, para cenários de pequeno, médio e grande porte, respectivamente. Ou seja, à medida que as dimensões, e conseqüentemente a complexidade do problema aumentam, o modelo SIG tem sua habilidade de localizar e alocar a demanda à oferta, obedecendo aos limites de capacidade das instalações, reduzida, gerando soluções de maiores custos de transporte, se comparadas às soluções obtidas pelo modelo PLIM.

Conclui-se com a análise apresentada por MAPA (2007), que as rotinas de localização-alocação do *software TransCAD* podem ser utilizadas para solução de uma grande gama de problemas desta natureza, contudo, para problemas mais complexos de planejamento de transportes deve-se avaliar o uso de métodos matemáticos de otimização, para que os resultados sejam mais adequados à realidade.

Assim, no próximo capítulo será apresentada uma proposição de abordagem de uso de metodologia de localização-alocação para determinação de zoneamento logístico a partir da definição de locais para instalação de estruturas de integração logística, do tipo CIL, na rede de infraestrutura do país.

## 5. MODELO MATEMÁTICO PARA LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE INTEGRAÇÃO LOGÍSTICA

Este capítulo apresenta uma proposição de modelo matemático para localização de Centros de Integração Logística – CIL. De maneira geral, busca-se minimizar os custos de transporte em sistemas de redes, considerando como indutores desta redução, a inserção de estruturas concentradoras de cargas, baseando-se no conceito de economia de escala, e os custos de movimentação.

A proposição de um modelo específico para tratar do escopo desta Tese parte da análise dos modelos existentes e de suas aplicações. Desta forma, o modelo matemático aqui apresentado foi obtido a partir dos modelos descritos no Capítulo 4, e busca identificar, quantificar e localizar os centros concentradores de carga, do tipo CIL, que minimizam os custos de transporte entre as zonas de produção e de consumo de diferentes produtos, considerando a integração modal e os investimentos necessários à instalação dos terminais, bem como os custos de movimentação.

Dos modelos descritos anteriormente, o modelo de localização de facilidades capacitado multiproduto multi-camada de GEOFFRION e GRAVES (1974) é o que mais se aproxima ao cenário de aplicação proposto inicialmente.

COSTA *et al.* (2012, 2013) apresentam uma aplicação deste modelo matemático, utilizando os dados da base georeferenciada do PNLT, para dois produtos do grupo de grânéis sólidos vegetais constantes dos produtos estudados no desenvolvimento do referido plano.

Contudo, este modelo pressupõe que toda demanda seja atendida ao menos por uma facilidade/instalação, o que no cenário proposto na Tese, ou seja, a utilização de CIL para redução dos custos de transporte, não deve ocorrer obrigatoriamente, uma vez que é esperado que o produtor só utilize uma das instalações propostas se o custo de transporte for sensibilizado (reduzido) pela mesma.

Por esta razão o modelo a seguir apresentado, parte da premissa de que os CIL a serem propostos devem possibilitar, pela facilidade de concentração de cargas, ganhos de escala tanto no uso do transporte unimodal, como no uso de modos alternativos de transporte com custos quilométricos menores.

## 5.1. REDUÇÃO DOS CUSTOS LOGÍSTICOS E DE TRANSPORTE

Para o desenvolvimento do modelo matemático, foi desconsiderado, *a priori*, a possibilidade de agregação de valor às cargas no CIL, bem como a produtividade quilométrica do sistema de transporte, pois o fluxo de atendimento inicialmente estudado é da produção para o consumo, ficando assim, ociosa, pelo menos, a capacidade dos veículos no fluxo reverso.

A Figura 5.1 apresenta de forma esquemática o fluxo proposto de produção para consumo. O fluxo parte das zonas de produção para os CIL propostos a partir do modo atual de transporte.

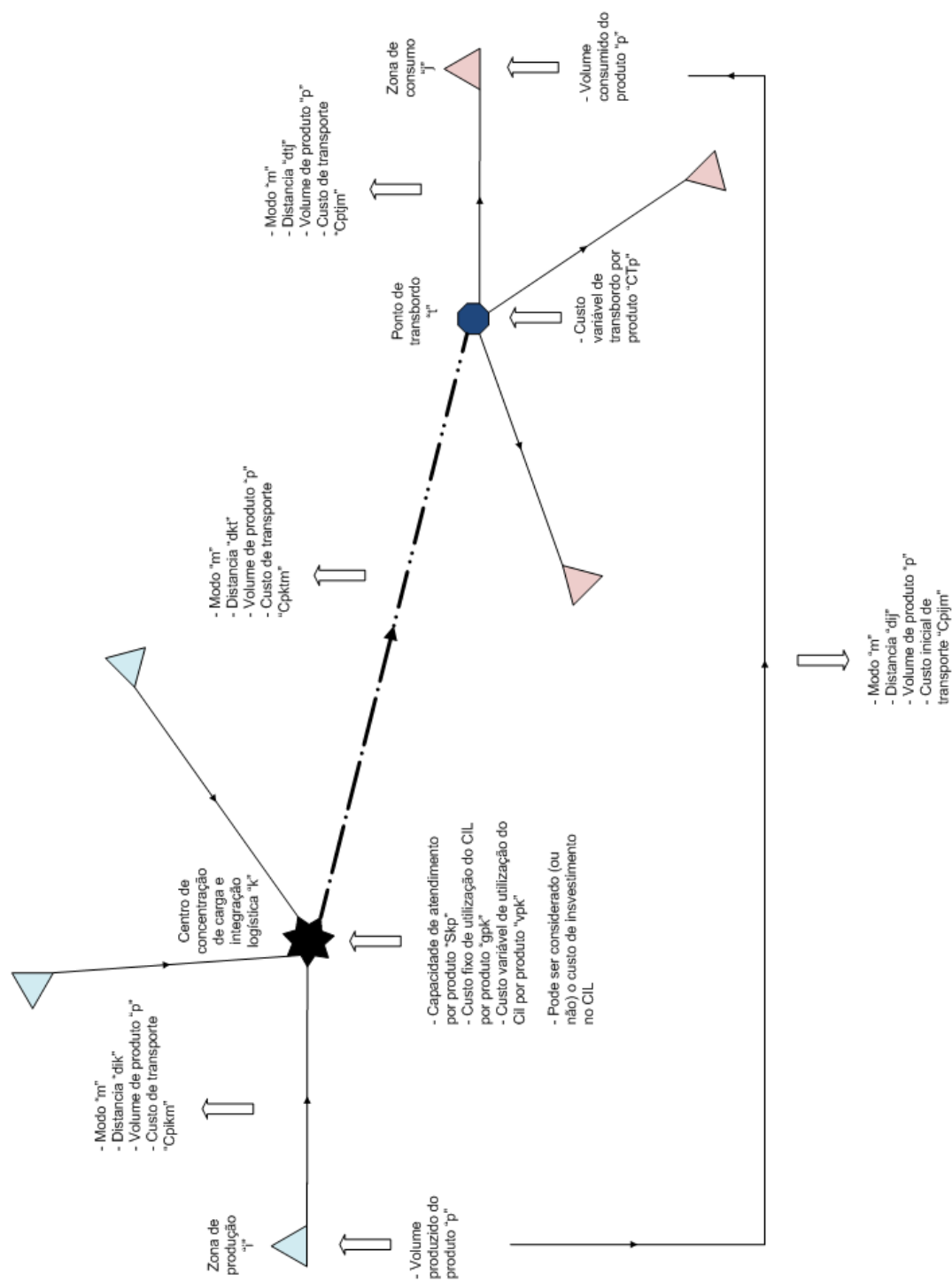
No CIL têm-se atividades de manipulação das cargas, armazenagem e despacho, tendo como principal função da instalação a concentração de pequenas cargas para sensibilização do uso da intermodalidade ou redução de custo por ganho de escala de volume.

Assim, a partir do CIL é possível o uso de um ou mais modos de transporte, passando por um terminal de distribuição ou não, em função da composição de transporte necessária para que a carga chegue à zona de consumo. Neste terminal de distribuição os custos de manipulação e eventual armazenagem serão considerados como custo do transporte inter ou unimodal a partir do CIL.

Na proposição apresentada serão considerados vários produtos, contudo, para fins desta Tese, o modelo se restringe a produtos caracterizados como *commodities*, que têm seus comportamentos de transporte, manipulação e armazenagem similares.

Sendo assim, tem-se como principais conjuntos e parâmetros envolvidos com o problema apresentado, os seguintes:

1. Conjunto de produtos (*commodities*) a serem transportados;
2. Conjunto de pontos de produção;
3. Conjunto de pontos concentradores de carga, ou CIL;
4. Conjunto de pontos de consumo;
5. Capacidades de produção;
6. Demandas por produtos;
7. Matrizes de distância por modo disponível;



**Figura 5.1** – Rede esquemática de representação do problema de localização do CIL.

8. Volume de produção por produto e por ponto (zona de produção);
9. Volume de consumo por produto e por ponto (zona de consumo);
10. Capacidade do ponto concentrador de carga – por produto;
11. Custo de transporte por modo e por produto (frete/tarifa);
12. Custo de concentração (custos de operação fixos e variáveis):
  - a) Custo de transferência (embarque/desembarque) por tipo de produto;
  - b) Custo de armazenagem por tipo de produto;
  - c) Custo de serviços de operação de transportes
    - Desembaraço de carga;
    - Operação interna do centro de concentração de carga;
  - d) Custo de instalação (caso seja relevante para o problema).
13. Custo de transbordo, caso haja necessidade de troca de modo entre o centro de concentração de carga e integração logística e a zona de consumo.

## 5.2. CONSIDERAÇÕES E PREMISAS

A partir das definições da Seção 5.1, seja  $P$  o conjunto de produtos (*commodities*),  $I$  o conjunto de pontos de produção,  $K$  o conjunto de pontos concentradores de carga,  $J$  o conjunto de pontos de consumo, e  $M$  o conjunto de modos disponíveis.

Assim, deve-se decidir se um dado produtor (zona de produção) utiliza ou não um dado centro de concentração de carga, ou centro de integração logística – CIL, uma vez que o mesmo é selecionado para ser aberto a partir de um conjunto de pontos concentradores pré-definidos disponíveis.

Considera-se ainda que, se nenhum dos CIL promover a redução do custo atual de transporte do produtor, este não será sensibilizado pelas instalações e, portanto continuará realizando seu transporte da forma atual.

Em última análise, se nenhum produtor for beneficiado pela instalação dos CIL, com redução do custo atual de transporte entre a zona de produção e a zona de consumo, nenhum CIL deverá ser aberto.

### 5.2.1. Condição Mínima de Atratividade e Custos Envolvidos

Quando o CIL reduzir o custo total, pela massificação do transporte de carga, o produtor encontrará benefício, então o CIL será utilizado.

Assim, 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 inicial, ou seja, o custo de transportar o produto  $p$  entre a zona de produção  $i$  e a zona de consumo  $j$  de forma direta:

$$C_{pikj}^{min} < C_{pijm}^{dir} \quad (5.1)$$

Sendo:

- $C_{pijm}^{dir}$  o custo de transporte do produto  $p$ , demandado em  $j$ , atendido por  $i$  de maneira direta (obtido pelo meio de otimização de rotas em sistemas de redes); e
- $C_{pikj}^{min}$  o menor custo de transporte do produto  $p$ , demandado em  $j$ , atendido por  $i$ , utilizando  $k$ .

O custo de transporte direto é função da quantidade de produto transportada, da distância percorrida e do modo utilizado. Assim, seja  $x_{pijm}^{dir}$  a quantidade de produto  $p \in P$  enviada diretamente entre a zona de produção  $i \in I$  e a zona de produção  $j \in J$  pelo modo  $m \in M$ . Assim,  $C_{pijm}^{dir}$  é dado por uma função  $f(x_{pijm}^{dir}, d_{ijm})$ , ou seja,  $C_{pijm}^{dir} = f(x_{pijm}^{dir}, d_{ijm})$ , onde  $d_{ijm}$  é a distância entre  $i$  e  $j$  utilizando o modo  $m$ .

Por outro lado,  $C_{pikj}^{min}$  considera o custo de transporte (custo da rota utilizada), dado por  $C_{pikj}^{rota}$ , mais o custo operacional, dado por  $C_{pk}$ , devido à utilização pelo produto  $p$  pelo CIL  $k$ , assim,  $C_{pikj}^{min} = C_{pikj}^{rota} + C_{pk}$ .

O custo da rota utilizada  $C_{pikj}^{rota}$  é função do volume de produto  $p$  transportado entre  $i$  e  $j$ , utilizando o CIL  $k$ , e da distância total entre  $i$  e  $j$  considerando a composição de modos empregada, assim  $C_{pikj}^{rota} = f(X_{pikj}, D_{ikjm})$  onde  $X_{pikj}$  é a quantidade de produto  $p \in P$  enviada da zona de produção  $i \in I$  para a zona de produção  $j \in J$ , passando pelo CIL  $k \in K$ , e  $D_{ikjm}$  é a distância entre  $i$  e  $j$  passando por  $k$  composta por diferentes segmentos de transporte que utilizam diferentes modos  $m \in M$ .

Desta maneira,  $C_{pikj}^{rota}$  pode ser reescrito como  $C_{pikj}^{rota} = C_{pik} + C_{pkj} + CT_{pkj}$  onde:

- $C_{pik}$  é o custo para transportar o produto  $p \in P$ , embarcado na zona de produção (origem)  $i \in I$ , até o CIL  $k \in K$ , sendo que este custo é afetado por um fator de desconto tarifário proveniente da economia de escala devido à concentração de carga no CIL  $k \in K$ .

O custo  $C_{pik}$  é função da distância entre  $i$  e  $k$ , do produto  $p$ , e da distância percorrida. Assim,  $C_{pik} = C_{pik}^{un} x_{pik} d_{pikm} \varepsilon_{pik}$  (frete ou tarifa de transporte), sendo:

- $C_{pik}^{un}$  o custo para transportar uma unidade do produto  $p$ , por unidade de distância, de  $i$  para  $k$ ;
- $x_{pik}$  o volume do produto  $p$  embarcado em  $i$  para o CIL  $k$ ;
- $d_{pikm}$  a distância percorrida pelo produto  $p$ , de  $i$  para  $k$ , utilizando o modo de transporte  $m$ ; e
- $\varepsilon_{pik}$  o fator de desconto associado ao produto  $p$  por estar sendo embarcado de  $i$  para o CIL  $k$ , devido à economia de escala.

- $C_{pkj}$  é o custo para transportar o produto  $p \in P$ , do CIL  $k \in K$  à zona de consumo (destino)  $j \in J$ , sendo que este custo também é afetado por um fator de desconto tarifário proveniente da economia de escala devido à concentração de carga no CIL  $k \in K$ .

O custo  $C_{pkj}$  é função da distância entre  $k$  e  $j$ , do produto  $p$ , e da distância percorrida. Assim,  $C_{pkj} = C_{pkj}^{un} x_{pkj} \cdot d_{pkjm} \cdot \varepsilon_{pkj}$  (frete ou tarifa de transporte), sendo:

- $C_{pkj}^{un}$  o custo para transportar uma unidade do produto  $p$ , por unidade de distância, de  $k$  para  $j$ ;
- $x_{pkj}$  o volume do produto  $p$  embarcado no CIL  $k$  para o destino  $j$ ;
- $d_{pkjm}$  a distância percorrida pelo produto  $p$ , de  $k$  para  $j$ , utilizando o modo de transporte  $m$ ; e
- $\varepsilon_{pkj}$  o fator de desconto associado ao produto  $p$  por estar sendo embarcado do CIL  $k$  para o destino  $j$ , devido à economia de escala.



- $CT_{pkj}$  o custo do(s) transbordo(s) do produto  $p \in P$ , entre o CIL  $p \in P$  e a zona de consumo (destino)  $j \in J$ . Pode ser nulo quando não houver necessidade de troca do modo de transporte utilizado entre  $k$  e  $j$ .

O custo operacional ( $C_{pk}$ ) devido à utilização pelo produto  $p$  do CIL  $k$ , é definido pelo custo fixo, que é uma taxa mínima cobrada pela utilização do CIL, e que pode variar de acordo com o tipo de produto, mais um custo variável que depende do volume e do produto que estão sendo movimentados (inclui os custos de transferência, armazenagem e serviços de operação). Assim,  $C_{pk} = g_{pk} + v_{pk}x_{pikj}$  onde  $g_{pk}$  é o custo fixo (aluguel) de utilização do CIL  $k$  pelo produto  $p$ , e  $v_{pk}$  é o custo variável de utilização do CIL  $k$  pelo produto  $p$ .

### 5.2.2. Condição Mínima de Viabilidade do CIL

O CIL só será aberto se um volume mínimo de ativação for atingido, ou seja, quando a soma dos volumes de carga dos produtores para os quais o CIL foi atrativo, atingir ou superar o volume mínimo de ativação do CIL. Somente assim o CIL tem carga suficiente para operar, utilizado como um critério de mínima viabilidade para o investimento financeiro.

A partir desta condição mínima, é possível definir uma variável de decisão inteira binária para representar a viabilidade. Assim, seja  $z_k$  uma variável binária que indica se o ponto concentrador  $k \in K$  deve ser aberto ( $z_k=1$ ) ou não ( $z_k = 0$ ).

### 5.2.3. Interação Transporte - CIL

De maneira prática, os volumes transportados não são “obrigados” a passar por um CIL. Essa decisão depende da verificação dos custos de transporte. Quando os mesmos são reduzidos entre a zona de produção  $i \in I$  e a zona de consumo  $j \in J$ , para um produto  $p \in P$ , passando por um ponto de concentração de cargas, verifica-se a atratividade de um CIL.

Assim, caso o custo de transporte de determinado volume do produto  $p$  originado em uma determinada zona de produção  $i$  com destino na zona de consumo  $j$  não seja sensibilizado por reduções de custo devido à massificação das cargas, ou, se a

redução do custo do transporte não for suficiente para compensar os custos adicionados pela utilização de um CIL, este fluxo de produtos não é contabilizado em nenhum CIL.

Com base nisso, pode ser considerado, ou não, o custo de investimento no CIL. Em um primeiro momento, este custo só será considerado para limitar o número e tamanho dos CIL propostos caso se queira definir um investimento máximo neste tipo de infraestrutura. Ou pode ser ainda tratado como um custo a ser minimizado.

Importante destacar que neste segundo caso, não pode interferir na decisão de atratividade do CIL, ou seja, não pode ser contabilizado no custo a ser minimizado e comparado ao custo atual; e também não pode ser considerado na viabilidade do CIL, ou seja, na condição de abertura, que é comandada pelo volume mínimo. Assim, a seguinte condição deve ser incluída, caso se queira limitar os investimentos nos CIL:

$$\sum_{k \in K} f_k z_k \leq F \quad (5.2)$$

Sendo:

$f_k$  o valor de investimento em cada ponto concentrador de carga e integração logística; e

$F$  o valor máximo de investimento nos centros concentradores de carga e integração logística.

### 5.3. MODELO MATEMÁTICO

A partir de todos os conceitos apresentados nas seções anteriores deste capítulo, percebe-se que no problema aqui apresentado podem ocorrer três tipos de fluxo de transporte: entre os pontos de produção e os pontos de consumo (fluxo direto), entre os pontos de produção e os locais concentradores de carga, e entre os locais concentradores de carga e os pontos de consumo, que podem utilizar distintos modos de transporte, conforme o produto e o local de embarque. Assim seja:

- $M_{pi}^{dir}$ ,  $p \in P$ ,  $i \in I$ , o conjunto dos possíveis modos utilizados para transportar diretamente o produto  $p$  a partir do ponto de produção  $i$  para qualquer ponto consumidor  $j \in J$ ;

- $M_{pi}^{ent}$ ,  $p \in P$ ,  $i \in I$ , o conjunto dos possíveis modos utilizados para transportar o produto  $p$  a partir do ponto de produção  $i$  para qualquer ponto concentrador  $k \in K$ ; e
- $M_{pk}^{sai}$ ,  $p \in P$ ,  $k \in K$ , o conjunto dos possíveis modos utilizados para transportar o produto  $p$  a partir concentrador  $k$  para qualquer ponto de demanda  $j \in J$ .

Como premissa, assume-se, conforme ilustrado na Figura 5.1, que o fluxo direto não apresenta troca de modo, e que o fluxo de produto via ponto concentrador deve obrigatoriamente trocar de modo, ou seja,  $M_{pi}^{ent} \cap M_{pk}^{sai} = \emptyset$ ,  $\forall p \in P$ ,  $i \in I$ ,  $k \in K$ .

Ainda com relação ao fluxo direto, assume-se 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 modo  $m \in M_{pi}^{dir}$ . Assim, têm-se opções de modo para o fluxo direto. Com relação às variáveis de decisão, seja:

- $x_{pijm}^{dir}$  o 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  $m \in M_{pi}^{dir}$ ;
- $x_{pikm}^{ent}$  o volume do produto  $p \in P$  transportado do ponto de produção  $i \in I$  até o ponto concentrador  $k \in K$  pelo modo  $m \in M_{pi}^{ent}$  (fluxo de entrada no ponto concentrador);
- $x_{pkjm}^{sai}$  o volume do produto  $p \in P$  transportado do ponto concentrador  $k \in K$  até o ponto de consumo  $j \in J$  pelo modo  $m \in M_{pk}^{sai}$  (fluxo de saída do ponto concentrador); e
- $z_k$  uma variável binária que indica se o ponto concentrador  $k \in K$  deve ser aberto ( $z_k=1$ ) ou não ( $z_k = 0$ ), como definido anteriormente na Seção 5.2.2.

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. Assim, a escolha do modo é importante e por isso está associada às variáveis de decisão de volume. Com isso o modelo matemático é apresentado a seguir.

**Minimizar:**

$v(CILs) =$

$$\begin{aligned} & \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{m \in M_{pi}^{dir}} C_{pijm}^{dir} x_{pijm}^{dir} + \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{m \in M_{pi}^{ent}} C_{pikm}^{ent} x_{pikm}^{ent} \\ & + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \left( g_{pk} z_k + v_{pk} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M_{pi}^{ent}} x_{pikm}^{ent} \right) \\ & + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} \sum_{m \in M_{pk}^{sai}} (C_{pkjm}^{sai} + CT_{pkjm}^{sai}) x_{pkjm}^{sai} \end{aligned} \quad (5.3)$$

**Sujeito a:**

$$\sum_{k \in K} \sum_{m \in M_{pi}^{ent}} x_{pikm}^{ent} + \sum_{j \in J} \sum_{m \in M_{pi}^{dir}} x_{pijm}^{dir} \leq P_{pi} \quad \forall p \in P, i \in I \quad (5.4)$$

$$V_k^{min} z_k \leq \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M_{pi}^{ent}} x_{pikm}^{ent} \leq V_k^{max} z_k \quad \forall k \in K \quad (5.5)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{m \in M_{pi}^{ent}} x_{pikm}^{ent} = \sum_{j \in J} \sum_{m \in M_{pk}^{sai}} x_{pkjm}^{sai} \quad \forall k \in K, p \in P \quad (5.6)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{m \in M_{pk}^{sai}} x_{pkjm}^{sai} + \sum_{i \in I} \sum_{m \in M_{pi}^{dir}} x_{pijm}^{dir} = D_{pj} \quad \forall p \in P, j \in J \quad (5.7)$$

$$x_{pijm}^{dir} \geq 0 \quad \forall p \in P, i \in I, j \in J, m \in M_{pi}^{dir} \quad (5.8)$$

$$x_{pikm}^{ent} \geq 0 \quad \forall p \in P, i \in I, k \in K, m \in M_{pi}^{ent} \quad (5.9)$$

$$x_{pkjm}^{sai} \geq 0 \quad \forall p \in P, k \in K, j \in J, m \in M_{pk}^{sai} \quad (5.10)$$

$$z_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K \quad (5.11)$$

Onde:

- $C_{pikm}^{ent}$  é o custo unitário para transportar o produto  $p \in P$  embarcado na zona de produção (origem)  $i \in I$ , até o CIL  $k \in K$ , pelo modo de transporte  $m \in M_{pi}^{ent}$ . Com base em  $C_{pik}$  definido na Seção 5.2.1,  $C_{pikm}^{ent}$  pode ser escrito como  $C_{pikm}^{ent} = C_{pikm}^{un} d_{pikm}^{ent} \varepsilon_{pik}$ , ou seja, é função do custo unitário entre  $i$  e  $k$  ( $C_{pikm}^{un}$ ),

da distância entre  $i$  e  $k$  ( $d_{pikm}^{ent}$ ), e do fator de desconto ( $\varepsilon_{pik}^{ent}$ ) devido à economia de escala, tudo relacionado ao modo  $m$ .

- $C_{pkjm}^{sai}$  é o custo unitário para transportar o produto  $p \in P$  embarcado no CIL  $k \in K$  até a zona de consumo (destino)  $j \in J$ , pelo modo de transporte  $m \in M_{pk}^{sai}$ . Com base em  $C_{pkj}$  definido na Seção 5.2.1,  $C_{pkjm}^{sai}$  pode ser escrito como  $C_{pkjm}^{sai} = C_{pkjm}^{un} d_{pkjm}^{sai} \varepsilon_{pkj}^{sai}$ , ou seja, é função do custo unitário entre  $k$  e  $j$  ( $C_{pkjm}^{un}$ ), da distância entre  $k$  e  $j$  ( $d_{pkjm}^{sai}$ ), e do fator de desconto ( $\varepsilon_{pkj}^{sai}$ ) devido à economia de escala, tudo novamente relacionado ao modo  $m$ .
- $CT_{pkjm}^{sai}$  é o custo do(s) transbordo(s) do produto  $p \in P$ , entre o CIL  $k \in K$  e a zona de consumo (destino)  $j \in J$  para o modo  $m \in M_{pk}^{sai}$ . Este custo é parecido com  $CT_{pkj}$ , porém leva em consideração o modo utilizado após transbordo.

A função objetivo (5.3) busca minimizar todos os custos envolvidos no problema. As restrições (5.4) garantem que, todo volume do produto  $p$  enviado a partir do ponto de produção  $i$  para um ponto concentrador  $k$  ou diretamente para um ponto de consumo  $j$ , seja menor ou igual à capacidade de produção do produto  $p$  no ponto de produção  $i$  ( $P_{pi}$ ). Note que estas restrições consideram todo o volume enviado a partir do ponto  $i$  independente do modo utilizado.

As restrições (5.5) relacionam duas variáveis importantes:  $x_{pikm}^{ent}$  e  $z_k$ . Nestas restrições  $V_k^{min} = \sum_{p \in P} V_{pk}^{min}$  representam o volume mínimo para abertura do CIL do  $k$  ( $V_k^{min}$ ) que depende dos volumes mínimos dos produtos  $p$  associados ao ponto concentrador  $k$  ( $V_{pk}^{min}$ ). Por outro lado,  $V_k^{max} = \sum_{p \in P} V_{pk}^{max}$  representa o volume máximo para abertura do CIL  $k$  ( $V_k^{max}$ ) que depende dos volumes máximos dos produtos  $p$  associados ao ponto concentrador  $k$  ( $V_{pk}^{max}$ ). Assim, a variável  $z_k$  recebe 1 se é aberto um CIL em  $k$ , caso contrário,  $z_k$  recebe 0. Então, caso  $z_k = 1$ , tem-se:

$$V_k^{min} \leq \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M_{pi}^{ent}} x_{pikm}^{ent} \leq V_k^{max} \quad (5.12)$$

E assim, as variáveis  $x_{pikm}^{ent}$  devem assumir valores positivos que somados devem estar entre  $V_k^{min}$  e  $V_k^{max}$ . Caso contrário ( $z_k = 0$ ):

$$0 \leq \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M_{pi}^{ent}} x_{pikm}^{ent} \leq 0 \quad (5.13)$$

e neste caso todas variáveis  $x_{pikm}^{ent}$  devem ser iguais a zero para não violar a restrição. As restrições (5.6) garantem que todo fluxo de produtos que entram em um ponto concentrador  $k \in K$  é igual a todo o fluxo de produtos que sai deste ponto concentrador. Esta restrição também é conhecida como restrição de conservação de fluxo, e sendo assim, existe uma relação entre as restrições (5.5) e (5.6).

Nas restrições (5.5), se  $z_k = 0$ , tem-se a desigualdade (5.13) que garante que  $\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M_{pi}^{ent}} x_{pikm}^{ent} = 0$ . E assim, isso garante que  $\sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{m \in M_{pi}^{ent}} x_{pikm}^{ent} = \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{m \in M_{pk}^{sai}} x_{pkjm}^{sai} = 0$ . Ou seja, se não há fluxo chegando em  $k$  porque lá não tem um CIL aberto, logo todo o fluxo que deixa esta facilidade deve ser nulo.

As restrições (5.7) garantem que tudo que chega do produto  $p$  no ponto de consumo  $j$ , seja via CIL ou de maneira direta, deve ser igual ao demandado por este produto no ponto de consumo. Esta restrição é de igualdade, então se deve atender a demanda e assim, as variáveis de volume precisam assumir valores, o que impacta nas demais restrições e na função objetivo.

As restrições (5.8)-(5.11) estão relacionadas ao domínio das variáveis. Definido desta maneira, o modelo matemático (5.3)-(5.11) constitui-se como um modelo de Programação Linear Inteira Mista – PLIM.

### 5.3.1. Particularidades: Restrições que Podem ser Inseridas no Modelo Matemático

Caso seja inserido na função objetivo o custo de implantação do CIL, deve ser ainda considerada a restrição:

$$\sum_{k \in K} f_k z_k \leq F \quad (5.14)$$

como definido na Seção 5.2.3. Por outro lado, caso seja necessário definir um número máximo  $\bar{p}$  de CIL abertos, uma restrição do tipo  $p$ -medianas pode ser incluída da seguinte maneira:

$$\sum_{k \in K} z_k \leq \bar{p} \quad (5.15)$$

### 5.3.2. Comentários Finais

O modelo matemático (5.3)-(5.11) para localização de CIL apresenta uma complexidade grande se forem considerados múltiplos produtos, várias origens, vários destinos e diversos locais candidatos a receberem CIL.

Mas embora seja um modelo de PLIM, esse modelo matemático pode deixar de ser linear, caso outras condições reais sejam impostas. Por exemplo, caso os fatores de desconto embutidos nos custos unitários de transporte envolvendo zonas de produção e CIL, e CIL e zonas de consumo, sejam obtidos em funções dos volumes de transporte, tem-se um modelo de programação não linear. Esta “simples” alteração impacta significativamente no método de solução a ser escolhido.

Contudo, como proposta inicial, este é o modelo que se pretende utilizar para determinar a localização de estruturas de integração logística, do tipo CIL, na rede de infraestrutura de transportes do Brasil, contribuindo assim com a melhora da distribuição de modo e conseqüentemente promovendo a redução do custo de transporte do País.

## **6. DEFINIÇÃO DO CENÁRIO PARA APLICAÇÃO DO MODELO**

A proposta metodológica desta tese consta do desenvolvimento de um modelo de otimização que indique a localização preferencial para instalação de centros de integração logística, em uma rede de transporte multimodal, que possam incentivar o uso da intermodalidade, promovendo a redução dos custos totais de transporte. Para tanto, foi elaborado um modelo matemático de localização-alocação, que considera a análise de produção e consumo nacional de mais de um produto, considerando restrições de capacidade e investimento, conforme descrito no Capítulo 5 deste trabalho.

A indicação da localização de infraestruturas de integração logística surge como uma necessidade aos responsáveis pelo planejamento estratégico de transportes, na reorientação da própria política de transporte, visando reformular as prioridades de investimentos que permitam a obtenção do equilíbrio da matriz modal de cargas, bem como estabelecer meios práticos e operacionais de incentivo à inter e multimodalidade.

Assim, o aprimoramento técnico indicativo nas formas e procedimentos que visam aperfeiçoar a integração modal no transporte de cargas, consta de um instrumento científico capaz de orientar com maior eficiência, medidas e ações que resultem no equilíbrio da matriz modal de cargas circulantes no Brasil. Desta maneira, o conceito de CIL no contexto do PNLT pode ser interpretado como adição de um novo mecanismo técnico, capaz de potencializar os investimentos em infraestrutura intermodal proposta pelo próprio plano.

Com base em tais questões, na sequência, estruturam-se os conceitos, definições e aspectos técnicos relevantes que constroem o ambiente de validação da proposição metodológica dessa tese.

### **6.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES GERAIS**

Esta seção trata dos principais conceitos que envolvem a definição do cenário para aplicação do modelo proposto. Para tanto é necessária a revisão dos dados que compõem a base georeferenciada do PNLT e suas características, a identificação das principais cargas compõem a matriz de produção e consumo nacional, sua distribuição territorial e por modo de transporte. Além disso, será relevante entender os principais custos envolvidos no transporte, caracterizando os valores praticados de frete e custos gerais de implantação e operação de CIL.



Com isso, é possível se estabelecer as condições de contorno do cenário de aplicação, definindo as principais variáveis que devem ser avaliadas simultânea e conjuntamente para otimização dos custos de transporte.

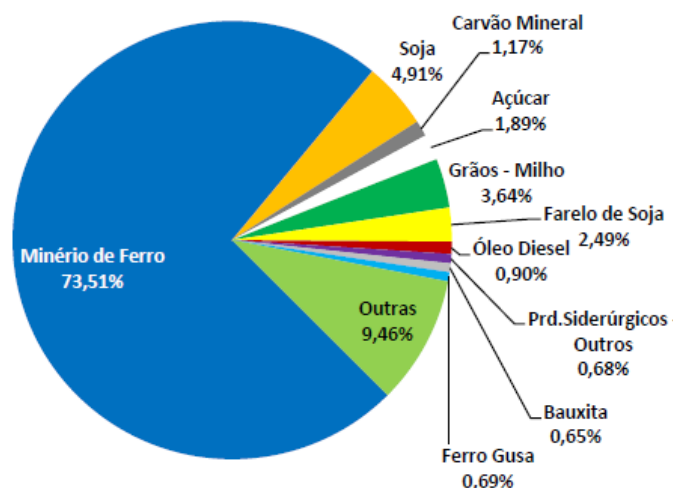
### **6.1.1 Características da Produção Nacional**

Apesar das alterações nas tendências observadas nos últimos anos em nível mundial, em que a carga geral vem ganhando destaque em termos de movimentações e taxas de crescimento, no Brasil ainda predominam na matriz de cargas os produtos agrícolas.

Se, por um lado, os fluxos de carga geral, predominantemente rodoviários, tendem a se ampliar significativamente no País, em função da própria expansão das atividades econômicas dos setores industriais, de comércio e de serviços na matriz produtiva brasileira estimada, que exigem esse modo na maioria dos deslocamentos de captação de insumos ou distribuição de produtos, especialmente em uma sociedade crescentemente urbana e metropolitana, por outro lado, as atividades de mineração já possuem um fluxo ferroviário ou dutoviário cativo, que tendem a manter sua expansão dentro desses modos.

A Figura 6.1 ilustra o percentual de produtos transportados pelo sistema ferroviário sob concessão, e que tratam em suma, de grupos de produtos também considerado pelo PNLT, havendo assim, convergência entre os parâmetros das cargas avaliadas no processo de transporte ferroviário.

Assim, os produtos com maior relevância para matriz de cargas nacional (excluída a carga geral e minério de ferro), são aqueles essencialmente decorrentes das atividades produtivas agrícolas e agroindustriais, ou ainda a movimentação de insumos para elas ou para cidades, tais como combustíveis ou fertilizantes, além dos minérios. Em outras palavras, são aquelas que poderão se manter ou se transferir para os modos duto-ferro-hidroviários, em busca de menores custos, deixando de utilizar o rodoviário atualmente dominante.



Fonte: ANTT (2012a)

**Figura 6.1** – Principais mercadorias transportadas em 2010 pelas malhas ferroviárias concedidas (percentual calculado sobre a produção de transporte em tku).

### 6.1.2 Grupos de Produtos

A classificação dos bens e serviços em grupos de produtos procura manter a homogeneidade de cada grupamento no que diz respeito à origem (atividade produtora e procedência, nacional ou importada) e ao destino (tipo de consumidor e/ou usos específicos). A definição da classificação de produtos é o ponto de partida básico para a análise dos fluxos de bens e serviços na economia, para obtenção de estimativas coerentes e consistentes quanto ao equilíbrio entre recursos (produção, importação, margens de transporte e comercialização e impostos) e usos (consumo intermediário e demanda final) de cada produto.

As singularidades e diferenças entre os diversos produtos que compõem a matriz de cargas do PNL, aliadas às dificuldades de obtenção de informações, inviabilizam uma uniformidade de bases e critérios para modelagem econômica adotada. A criação de grupos de produtos compatíveis em termos de transportes certamente é a melhor solução para se estabelecer a relação entre “valor monetário da carga” e “toneladas transportadas”.

Há estreita vinculação entre as classificações de produtos e de atividades: não são somente os produtos que caracterizam as atividades, também seu nível de detalhamento leva a diferentes avaliações da homogeneidade nas estruturas de produção e consumo; por outro lado, classificações mais agregadas de atividades tornam

assemelhados bens e serviços quanto à sua origem e destino (MT, 2012). Assim, a definição do conjunto de produtos relevantes tem como objetivo contemplar, de forma abrangente, os itens de demanda por transporte que representam relevância para o sistema de transporte de carga no Brasil, seja pelo porte dessa demanda, seja pelos requisitos logísticos indispensáveis às exigências do mercado.

A criação de grupos de produtos compatíveis em termos de transportes certamente é a melhor solução para se estabelecer a relação entre “valor monetário da carga” e “toneladas transportadas”, visto que as singularidades e diferenças, aliadas às dificuldades de obtenção de informações, inviabilizam uma uniformidade de bases e critérios para os diferentes produtos considerados relevantes ao PNLT (MT e MD, 2007). A partir do levantamento dos principais produtos movimentados na rede e com base em estudos de características semelhantes realizados no País, o PNLT (MT e MD, 2007) define como relevantes para matriz de cargas nacional, os produtos listados no Quadro 6.1, caracterizados quanto ao complexo produtivo ao qual pertencem, seus componentes e agrupamento de cargas.

### **6.1.3 Características da Matriz de Transporte de Cargas**

O desenvolvimento de um país está intimamente ligado à disponibilidade de infraestrutura econômica, de tal forma que a infraestrutura de transportes tem um impacto decisivo para a sustentabilidade deste processo. A oferta de infraestrutura de transportes, entretanto, deve estar disponível a custos razoáveis, de modo a viabilizar o atendimento da crescente demanda que é impulsionada pelo próprio desenvolvimento da economia nacional. Como normalmente os recursos disponíveis para expansão da oferta viária são escassos, deve-se atentar para a melhor alocação possível, para se alcançarem condizentes retornos sociais que possam, realmente, subsidiar uma transformação qualitativa da vida social que é, em suma, o objetivo primordial do desenvolvimento econômico.

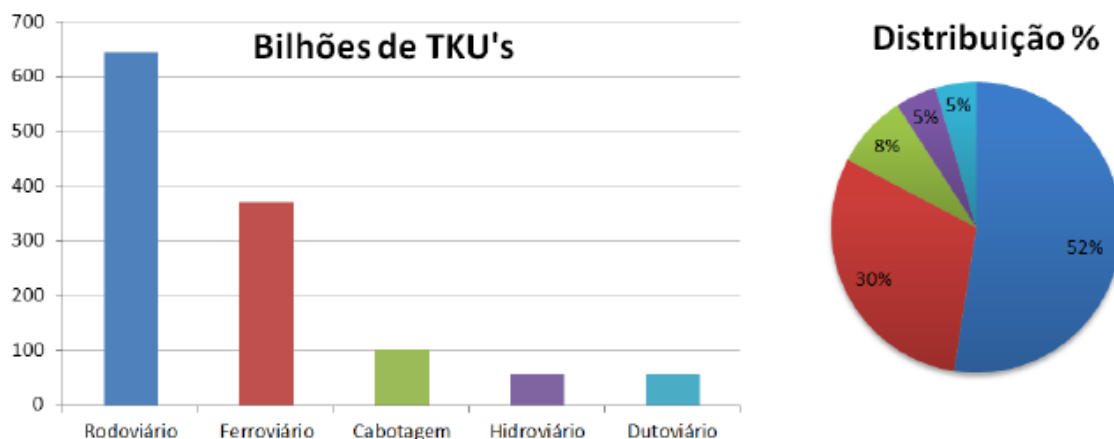
Esses conceitos têm balizado a política nacional de transportes na busca da maximização das vantagens comparativas de cada modo, tendo em vista o contorno de dificuldades e as tomadas de decisão em relação aos investimentos necessários para o setor.

**Quadro 6.1** – Lista de produtos relevantes e componentes associados.

<b>Produtos Relevantes</b>			
<b>Complexo</b>	<b>Produto</b>	<b>Componentes</b>	<b>Agrupamento</b>
Complexo soja	Soja em grãos	Soja em grãos	Granéis vegetais
	Farelo de soja	Farelo de soja	
Milho	Milho	Milho	
Cana-de-açúcar	Açúcar	Açúcar	Granéis líquidos
	Álcool	Álcool	
Derivados de petróleo	Combustíveis	Gasolina	
		Óleo <i>diesel</i>	
		Óleo combustível	
		Outros	
Fertilizantes	Fertilizantes primários	Complexos	Granéis minerais
		Superfosfato simples	
		Uréia	
		Sulfato de amônio	
		Superfosfato triplo	
		Map/Dap	
		Cloreto de potássio	
		Nitrato de amônio	
Minério de ferro	Minério de ferro	Minério de ferro	
		Minério de ferro em Pelotas	
Bauxita	Bauxita	Bauxita	
Contêineres	Contêineres	Contêineres	Contêineres
Carga geral	Carga geral	Carga geral	Carga geral

Fonte: PNLT (MT e MD, 2007)

A distribuição modal da matriz de transportes no Brasil pode ser observada na Figura 6.2, sendo os percentuais de participação de cada modo estimados em função das quantidades de toneladas-quilômetro-úteis (tku) de cada modo, resultantes das simulações do PNLT para o ano de 2011. Evidentemente, os percentuais obtidos (especialmente no caso dos modos menos representativos) podem diferir de valores obtidos em outras fontes, considerando as premissas adotadas, e os métodos utilizados para se obterem os carregamentos na malha viária nacional.



Fonte: PNLT (MT, 2012).

**Figura 6.2** – Distribuição modal da matriz brasileira de transportes de cargas em 2011.

Observa-se que o Brasil possui forte dependência do modo de transporte rodoviário. A Tabela 6.1 compara a participação relativa para cada modo, demonstrando o relativo desequilíbrio da matriz brasileira de transportes de cargas, quando comparada a de outros países de grandes dimensões territoriais (como Rússia, Estados Unidos e Canadá), evidenciando também que a utilização de ferrovias e hidrovias é vantajosa para transportes a distâncias médias e grandes, pouco relevantes nos países de menor dimensão territorial (como Alemanha e França, por exemplo).

**Tabela 6.1** – Participação relativa de cada modo no sistema de transportes de diferentes países.

Países	Rodovia	Ferrovia	Hidrovia
Austrália	53	43	4
Alemanha	71	15	14
Áustria	49	45	6
<b>Brasil</b>	<b>58</b>	<b>25</b>	<b>17</b>
Canadá	43	46	11
Estados Unidos	32	43	25
França	81	17	2
México	55	11	34
Rússia	8	81	11

Fonte: PNLT (MT e MD, 2007)

Neste sentido, a principal meta do PNLT é dar maior equilíbrio à repartição modal de transportes, com racionalização do uso do modo rodoviário no atendimento de

demandas com maior capilaridade e no complemento dos demais modos. Com a devida utilização de cada um dos modos de acordo com sua principal vocação, o equilíbrio da matriz será alcançado com a redução da participação do modo rodoviário e o aumento da participação relativa dos outros modos.

Como resultado da divisão modal da matriz de transportes brasileira, configura-se um quadro de desvantagens comparativas em termos de competitividade internacional dos produtos de exportação, visto que se elevam os seus custos de transporte, o que incide, negativamente, nos custos logísticos totais.

No tocante ao mercado interno brasileiro, a competitividade inter-regional também é prejudicada pelos elevados custos logísticos, o que afeta o crescimento econômico das regiões menos desenvolvidas ou situadas nas novas fronteiras agrícolas (Norte e Nordeste), em decorrência de opções de transporte inadequadas.

Fica, portanto, evidente que a racionalização dos custos de transportes poderá produzir efeitos significativamente benéficos sobre o componente mais expressivo dos custos logísticos. Junte-se a este raciocínio o fato de que, sob certas condições e para determinados fluxos de carga, os fretes hidroviários e ferroviários podem ser 62% e 37%, respectivamente, mais baratos do que os fretes rodoviários.

É por isso que o balanceamento dessa matriz vem sendo objeto de atenção do Governo Federal. Tais ações requerem a implantação de medidas institucionais e o aporte de significativos investimentos.

#### **6.1.4 Definição dos Produtos para Aplicação do Modelo**

A definição do conjunto de produtos relevantes para aplicação tem como objetivo contemplar os itens de demanda por transporte que representam relevância para o sistema de transporte de carga nacional, seja pelo porte dessa demanda, seja pelos requisitos logísticos indispensáveis às exigências do mercado.

A estrutura de um CIL, conforme definido no Capítulo 3, pode variar de acordo com o grau de especialização e tipos de serviços disponíveis. Grupos de produtos com características similares de transporte e movimentação estabelecem um padrão de CIL, cujo tamanho pode variar de acordo com o volume de carga que se pretende movimentar, que demanda os mesmos tipos de serviços.

Desta forma, ao selecionar os produtos relevantes a esta proposição de aplicação, estes devem ser qualificados em grupos com características similares no que tange a transporte de cargas, levando-se em consideração detalhes como:

- Forma de comercialização e distribuição dos produtos;
- Tipo de movimentação e portabilidade das cargas;
- Alteração da relação entre tonelada e valor monetário transportado, à medida que novos processos são agregados à cadeia produtiva; e
- Disponibilidade de informações confiáveis.

O modelo matemático proposto leva em consideração a utilização de uma estrutura de CIL voltada fundamentalmente para consolidação de carga, gerando ganhos de escala suficientes para viabilizar o transporte das cargas por modos de alta capacidade e menores custos que o rodoviário.

Estudos de planejamento de transportes, especialmente os que enfocam o modo ferroviário, usualmente consideram apenas os produtos com grandes volumes de movimentação e baixo valor agregado, geralmente representado por *commodities*, à medida que são estes os que mais solicitam a infraestrutura de transportes.

Na avaliação das bases de informações que compõem o PNLT (MT e MD, 2007), os produtos com maior relevância para matriz de cargas nacional (excluída a carga geral e minério de ferro) essencialmente decorrentes das atividades produtivas agrícolas e agroindustriais, e que são também os que têm maior possibilidade de se transferir para os modos duto-ferro-hidroviários em busca de menores custos de transportes, estão identificados no agrupamento dos grãos sólidos vegetais: soja em grãos, farelo de soja, milho e açúcar.

Em termos de informações disponíveis no escopo de análise de modelagem do PNLT, estes produtos se assemelham ainda nas seguintes características:

- São produtos geradores de grandes volumes de transporte;
- Têm produção e/ou consumo concentrados em locais ou regiões identificadas;
- Têm como característica física grande grau de homogeneidade na maior parte das regiões onde são produzidos;
- Têm características que permitem a utilização de transporte intermodal para sua movimentação;
- Possuem arquivos de informações disponíveis que possibilitam a execução de

análises e estimativas de matrizes de origem e destino – O/D;

- Utilizam equipamentos de transporte a eles adaptados, permitindo ocupação total de sua capacidade. Para esses produtos a mensuração de viagens geradas pode ser estimada pela divisão da produção pela capacidade dos veículos.

### **6.1.5 Definição dos Fretes e Custos para o Modelo**

Se existirem condições de capacidade e as premissas operacionais e físicas que envolvem a entrega do produto forem atendidas, o principal fator que determina a maior ou a menor probabilidade de uma escolha modal está no valor monetário a ser cobrado pelo transporte das mercadorias.

O custo de transporte engloba as despesas realizadas na movimentação de determinado produto desde a origem até ao destino final. Este custo é considerado o principal componente dos custos logísticos, tendo grande relevância no preço final do produto. Vários fatores influenciam os custos de transporte, podendo estar relacionados com o produto, por exemplo, a densidade do produto e a facilidade do seu manuseamento; ou estar relacionados com o mercado, como por exemplo, a localização do destino do produto.

O valor do frete está relacionado com o valor pago pela utilização de um meio de transporte para levar e trazer mercadorias, ou seja, além do custo leva em conta a remuneração do prestador de serviço.

Desta forma, nesta aplicação, o fator principal adotado como critério de escolha modal está relacionado ao valor do frete praticado no mercado, que cobre todos os custos de transporte entre um determinado par O/D, incluindo desde o transporte direto entre zona de produção e a zona de consumo, como a alimentação ao centro de integração logística, a viagem no trecho tronco e transbordo para o destino.

O cálculo das proporções de viagens realizadas por cada um dos modos disponíveis requer, inicialmente, o cálculo de distâncias entre cada par origem/destino para rotas rodoviárias, ferroviárias e hidroviárias, ou ainda rotas multimodais que incluem trechos de diferentes modos. Em seguida, com base nas distâncias, são identificados os fretes por modo e tipo de produto, e atribuídos os custos de viagem por par O/D, conforme o tipo de rota considerada.



Para facilitar a modelagem, são consideradas, por modo, funções de frete por tonelada-quilômetro em função da distância percorrida, obtidas a partir de fretes reais praticados no mercado.

Além dos valores de frete, o modelo leva em consideração os custos de movimentação no CIL, adicionados ao valor das rotas quando da alteração das mesmas para caminhos alternativos que promovam a concentração da carga e utilização de modos de transporte distintos.

#### *6.1.5.1 Fretes Rodoviários*

No Brasil, até final de 2009, segundo dados da ANTT, existiam 1.198.248 agentes envolvidos na oferta dos serviços de transporte rodoviário de cargas, sendo que 1.083.758 são transportadores autônomos, 188.613 empresas transportadoras e 877 cooperativas de transportes. Esses agentes possuem uma frota de 1.969.264 veículos, sendo que 55,0% desta frota pertencem aos transportadores autônomos, 44,5%, às empresas transportadoras e 0,5%, às cooperativas (BNDES, 2011). Os números, por si, indicam que o mercado do transporte rodoviário é extremamente pulverizado, com inúmeros agentes atuando, o que se traduz em um mercado extremamente competitivo.

Além disso, há outro fator importante no estabelecimento dos fretes rodoviários: “a praça”, em que atuam os transportadores. Como a demanda do transporte rodoviário é também pulverizada, a oferta se organiza naturalmente, especializando-se no transporte de produtos e também por rotas ou origens e destinos específicos. Isso possibilita uma melhor produtividade, uma redução de custos pela especialização dos veículos e a possibilidade de trabalhar cargas de retorno.

Assim, o valor de mercado cobrado pelo frete rodoviário é sujeito a muitas variáveis. Além da distância do percurso, também são fatores que influenciam o preço da tarifa praticada a região de origem e destino da carga, o produto, o tipo de acondicionamento do mesmo, a oferta de veículos para o transporte, a sazonalidade da demanda e outros custos adicionais, como seguros, pedágios, tempos de carga e descarga e tempos para liberação das cargas nas fronteiras no caso de transporte internacional.

São duas, as principais fontes de informações sobre fretes rodoviários no Brasil. A primeira trata do banco de dados de fretes rodoviários, denominado Sistema de Informações de Fretes – SIFRECA (USP, 2012). A segunda são as análises sobre custos

de transportes, efetuadas pela Associação Nacional de Transporte de Cargas e Logística – NTC & Logística.

Principal referência do mercado de fretes agrícolas no País, o SIFRECA<sup>7</sup> é um projeto permanente do pelo Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ da Universidade de São Paulo – USP, sob a responsabilidade técnica dos pesquisadores do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial – ESALQ-LOG, que divulga mensalmente, para os principais pares de origem e destino deste grupo de cargas, os preços médios de fretes praticados no Brasil.

Há muitos anos, o SIFRECA efetua mensalmente o levantamento dos fretes rodoviários praticados pelo mercado para diversos produtos, entre eles, açúcar, álcool, carne bovina, farelo de soja, fertilizantes, milho e soja. Os fretes são pesquisados para diversos pares de origem e de destino.

Os dados do SIFRECA são consolidados anualmente e disponibilizados na forma de Anuário. Nele estão organizadas as informações relativas aos fretes rodoviários médios, praticados ao longo do ano, com o intuito de documentar valores de referência tanto para agentes já tradicionais no mercado de fretes agrícolas quanto para os novos empreendedores do transporte e do agronegócio no Brasil. Para cada produto são apresentados os valores médios do frete rodoviário por par O/D. Também são consolidados, por produto, os fretes mínimos, médios e máximos, conforme apresentado na Tabela 6.2.

**Tabela 6.2** – Fretes mínimos, médios e máximos por produto.

Produto	R\$/t.km		
	Valor mínimo	Valor médio	Valor máximo
Açúcar	0,0748	0,1606	0,2966
Açúcar Carreteiro	0,0656	0,1369	0,2513
Aubos e Fertilizantes	0,0700	0,1091	0,2836
Álcool*	0,1010	0,1697	0,2966
Algodão	0,1231	0,1456	0,1914
Arroz	0,0824	0,0988	0,1238
Café	0,1153	0,2028	0,2795
Calcário	0,1056	0,1361	0,2218
Carne Bovina	0,1122	0,1652	0,2351
Caroço de Algodão	0,1000	0,1333	0,2560

<sup>7</sup> Para maiores detalhes sobre o SIFRECA, ver <http://sifreca.esalq.usp.br>

Produto	R\$/t.km		
	Valor mínimo	Valor médio	Valor máximo
Combustíveis Claros*	0,1010	0,1595	0,2468
Farelo de Soja	0,1000	0,1346	0,2419
Gesso	0,1018	0,1523	0,2667
Milho	0,0717	0,1282	0,2857
Óleo de Soja	0,1017	0,1630	0,2764
Soja	0,0702	0,1275	0,2947
Trigo	0,0745	0,1220	0,2955

\* R\$/m<sup>3</sup>.km

Fonte: Anuário SIFRECA 2012 (ESQA-LOG, 2013).

A NTC & Logística congrega, além das empresas transportadoras diretamente associadas, por volta de 3.500, mais de 50 entidades patronais (federações, sindicatos e associações especializadas), representando cerca de 10.500 empresas transportadoras que operam uma frota superior a 1,5 milhão de caminhões e criam mais de um milhão de postos de trabalho.

Entre as informações recebidas pelos filiados encontra-se o relatório mensal, com os preços e parâmetros adotados para a determinação dos custos de percurso rodoviário. Assim, na determinação dos custos do transporte rodoviário, a NTC & Logística simula a operação mensal de uma empresa de transporte de porte médio em que são apropriadas todas as despesas e alocadas nas suas principais atividades. A determinação do custo por tonelada movimentada, ou por quilômetro rodado, é obtida em função de três parâmetros principais:

- 1) O custo de carga e descarga, que é determinado em função dos custos fixos de operação, das horas trabalhadas, do tempo de carga, espera e descarga e da tonelage transportada. Os custos fixos de operação levam em consideração a remuneração do capital, o salário do motorista, o valor de reposição do veículo e da carroceria, o licenciamento, o seguro e o crédito de impostos;
- 2) Os custos de transferência, que levam em consideração as despesas de manutenção dos veículos, consumo de combustíveis e lubrificantes, lavagens, consumo de pneus e crédito de impostos; e
- 3) As despesas indiretas, que consideram os custos de administração, aluguéis, tarifas públicas, serviços profissionais, seguros de vida dos funcionários, depreciações, custos diversos, impostos e taxas e créditos de impostos.

Desta forma, a entidade, por meio de seu Departamento de Custos Operacionais e Pesquisas Econômicas – DECOPE atualiza periodicamente os custos operacionais do transporte rodoviário e os aumentos mensais dos preços dos seus insumos, que são colocados à disposição dos seus associados para orientá-los nas suas negociações de fretes e de reajustamento de contratos com os seus clientes.

As “Tabelas Referenciais de Custos do Transporte Rodoviário de Cargas – TRC”, atualizadas e disponibilizadas mensalmente no site aos associados, são também fornecidas pela NTC & Logística em mídia digital (NTC & Logística, 2013). São diferenciadas para oito modalidades diferentes de transporte rodoviário: carga fracionada, carga completa, carga frigorificada, carga líquida e perigosa, derivados de petróleo líquidos, contêiner, granéis sólidos e transporte rodoviário internacional para carga completa.

Os fretes são apresentados em R\$/t e R\$/m<sup>3</sup> ou, em alguns casos também em R\$/viagem variando de acordo com a extensão (km) entre a origem e o destino da carga, e, no caso de granéis sólidos com o tamanho do veículo (número de eixos). A Tabela 6.3 apresenta a planilha de custo referencial para granéis sólidos.

**Tabela 6.3** – Planilha Referencial de Custo de Transporte Rodoviário com Equipamento Silo (Granéis Sólidos) – Abril, 2013.

<i>Classes de Percurso</i>	<b>Conjunto 5 Eixos</b>		<b>Conjunto 6 Eixos</b>		<b>Conjunto 7 Eixos</b>	
	<i>Custo-Peso</i>		<i>Custo-Peso</i>		<i>Custo-Peso</i>	
<i>( km )</i>	<i>(R\$/t)</i>	<i>(R\$/Viagem)</i>	<i>(R\$/t)</i>	<i>(R\$/Viagem)</i>	<i>(R\$/t)</i>	<i>(R\$/Viagem)</i>
1 a 25	17,76	461,71	16,21	486,26	15,90	572,33
26 a 50	23,29	605,44	21,29	638,62	20,50	737,96
51 a 75	28,81	749,17	26,37	790,99	25,10	903,60
76 a 100	34,34	892,90	31,45	943,35	29,70	1.069,24
101 a 125	39,87	1.036,64	36,52	1.095,71	34,30	1.234,87
126 a 150	45,40	1.180,37	41,60	1.248,08	38,90	1.400,51
151 a 175	50,93	1.324,10	46,68	1.400,44	43,50	1.566,15
176 a 200	56,45	1.467,83	51,76	1.552,80	48,11	1.731,79
201 a 225	61,98	1.611,56	56,84	1.705,17	52,71	1.897,42
226 a 250	67,51	1.755,29	61,92	1.857,53	57,31	2.063,06
251 a 275	73,04	1.899,02	67,00	2.009,89	61,91	2.228,70
276 a 300	78,57	2.042,75	72,08	2.162,25	66,51	2.394,34
301 a 325	84,10	2.186,48	77,15	2.314,62	71,11	2.559,97
326 a 350	89,62	2.330,22	82,23	2.466,98	75,71	2.725,61
351 a 375	95,15	2.473,95	87,31	2.619,34	80,31	2.891,25
376 a 400	100,68	2.617,68	92,39	2.771,71	84,91	3.056,88
401 a 450	111,74	2.905,14	102,55	3.076,43	94,12	3.388,16
451 a 500	122,79	3.192,60	112,71	3.381,16	103,32	3.719,43
501 a 550	133,85	3.480,06	122,86	3.685,88	112,52	4.050,71
551 a 600	147,29	3.829,54	135,41	4.062,16	124,11	4.467,84

<i>Classes de Percurso</i>			<b>Conjunto 5 Eixos</b>		<b>Conjunto 6 Eixos</b>		<b>Conjunto 7 Eixos</b>	
			<i>Custo-Peso</i>		<i>Custo-Peso</i>		<i>Custo-Peso</i>	
	<i>( km )</i>		<i>(R\$/t)</i>	<i>(R\$/Viagem)</i>	<i>(R\$/t)</i>	<i>(R\$/Viagem)</i>	<i>(R\$/t)</i>	<i>(R\$/Viagem)</i>
601	a	650	158,35	4.117,00	145,56	4.366,88	133,31	4.799,12
651	a	700	169,40	4.404,46	155,72	4.671,61	142,51	5.130,39
701	a	750	180,46	4.691,92	165,88	4.976,34	151,71	5.461,67
751	a	800	191,51	4.979,39	176,04	5.281,06	160,92	5.792,94
801	a	850	202,57	5.266,85	186,19	5.585,79	170,12	6.124,22
851	a	900	213,63	5.554,31	196,35	5.890,51	179,32	6.455,49
901	a	950	224,68	5.841,77	206,51	6.195,24	188,52	6.786,76
951	a	1000	235,74	6.129,23	216,67	6.499,97	197,72	7.118,04
1001	a	1050	246,80	6.416,70	226,82	6.804,69	206,93	7.449,31
1051	a	1100	257,85	6.704,16	236,98	7.109,42	216,13	7.780,59
1101	a	1150	271,29	7.053,63	249,52	7.485,69	227,71	8.197,72
1151	a	1200	282,35	7.341,09	259,68	7.790,42	236,92	8.529,00
1201	a	1300	304,46	7.916,02	280,00	8.399,87	255,32	9.191,55
1301	a	1400	326,57	8.490,94	300,31	9.009,32	273,72	9.854,10
1401	a	1500	348,69	9.065,87	320,63	9.618,77	292,13	10.516,64
1501	a	1600	370,80	9.640,79	340,94	10.228,23	310,53	11.179,19
1601	a	1700	392,91	10.215,71	361,26	10.837,68	328,94	11.841,74
1701	a	1800	417,41	10.852,65	383,96	11.518,68	349,73	12.590,15
1801	a	1900	439,52	11.427,57	404,27	12.128,13	368,13	13.252,70
1901	a	2000	461,63	12.002,50	424,59	12.737,58	386,53	13.915,25
2001	a	2100	483,75	12.577,42	444,90	13.347,03	404,94	14.577,80
2101	a	2200	505,86	13.152,35	465,22	13.956,49	423,34	15.240,35
2201	a	2400	552,47	14.364,20	508,23	15.246,94	462,54	16.651,31
2401	a	2600	596,69	15.514,05	548,86	16.465,84	499,34	17.976,40
2601	a	2800	640,92	16.663,90	589,49	17.684,75	536,15	19.301,50
2801	a	3000	687,53	17.875,76	632,51	18.975,20	575,35	20.712,46
3001	a	3200	731,75	19.025,61	673,14	20.194,10	612,15	22.037,56
3201	a	3400	775,98	20.175,46	713,77	21.413,01	648,96	23.362,66
3401	a	3600	822,59	21.387,32	756,78	22.703,46	688,16	24.773,62
3601	a	3800	866,81	22.537,16	797,41	23.922,36	724,96	26.098,71
3801	a	4000	913,42	23.749,02	840,43	25.212,82	764,16	27.509,67
4001	a	4200	957,65	24.898,87	881,06	26.431,72	800,97	28.834,77
4201	a	4400	1.001,87	26.048,72	921,69	27.650,62	837,77	30.159,87
4401	a	4600	1.048,48	27.260,58	964,70	28.941,08	876,97	31.570,83
4601	a	4800	1.092,71	28.410,43	1.005,33	30.159,98	913,78	32.895,92
4801	a	5000	1.136,93	29.560,28	1.045,96	31.378,88	950,58	34.221,02
5001	a	5200	1.183,54	30.772,13	1.088,98	32.669,34	989,78	35.631,98
5201	a	5400	1.227,77	31.921,98	1.129,61	33.888,24	1.026,59	36.957,08
5401	a	5600	1.271,99	33.071,83	1.170,24	35.107,14	1.063,39	38.282,18
5601	a	5800	1.318,60	34.283,69	1.213,25	36.397,60	1.102,59	39.693,14
5801	a	6000	1.362,83	35.433,54	1.253,88	37.616,50	1.139,40	41.018,23

1. Os valores acima não contemplam: os impostos incidentes, pedágio e demais despesas de viagem e lucro.
2. Os valores desta tabela referem-se a serviços executados em rodovias pavimentadas em boas condições de tráfego e trânsito.

Fonte: NTC & Logística (2013).

Como os custos obtidos são teóricos, verifica-se que, normalmente, devido às pressões de mercado, as cotações praticadas situam-se cerca de 20% a 30% abaixo dos valores de referência recomendados e obtidos com o modelo da NTC & Logística. Por outro lado, verifica-se que, no modelo, a tonelagem média carregada adotada por caminhão é muito reduzida, de 7,14 toneladas, o que leva os custos a um valor por tonelada-quilômetro mais elevado, sendo mais representativo para transportes de curta distância.

Assim, as informações da NTC & Logística servem aqui somente para análise da estrutura de custo do frete rodoviário, preferindo-se utilizar os dados do SIFRECA, por terem como fonte primária as pesquisas diretas de fretes das transportadoras.

#### *6.1.5.2 Fretes Ferroviários*

No caso de transporte ferroviário, em geral, não existe competição direta entre as empresas, pela simples razão de que cada linha possui um trajeto específico que atende uma determinada região produtora.

Segundo a análise apresentada por SILVA (2005), a Lei 8.987/95, que orienta o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos, não especifica claramente o método de cálculo de custos ferroviários, havendo apenas uma tabela de referência apresentando as tarifas.

A tarifa máxima é estipulada em relação a essas referências; as tarifas mínimas devem ser calculadas em função de custos variáveis de longo prazo, os quais também não são devidamente determinados por métodos de cálculo. Por fim, em caso de divergência quanto à tarifa estipulada, entre prestador de serviço e os usuários cativos, cabe ao Poder Concedente definir o valor. No entanto, não há definição clara do significado de usuário cativo. Embora essa prática possa ser considerada abusiva para alguns usuários, é ela que abre espaço para que haja concorrência do modo ferroviário com o modo rodoviário em termos tarifários (CASTRO *et al.*, 1997).

Em última instância, na prática o frete ferroviário acaba sendo determinado pelo frete rodoviário. Ou seja, as concessionárias verificam os fretes cobrados pelas transportadoras rodoviárias e reduzem uma percentagem, para chegar à tarifa cobrada pela ferrovia. Os valores também dependem da política tarifária da concessionária em questão, que tipo de produto ela prioriza transportar (reduz o frete para estes produtos e aumenta para aqueles que não a interessa muito) e da disponibilidade de vagões (ÂNGELO, 2005).

As principais fontes de informações sobre fretes ferroviários no Brasil incluem o banco de dados de fretes rodoviários do SIFRECA, as atualizações das tabelas de referência das tarifas de serviço de transporte ferroviário de cargas de cada uma das concessionárias, e os dados do Sistema de Acompanhamento e Fiscalização de Transporte Ferroviário – SAFF, sistema da ANTT no qual são compiladas informações do setor ferroviário.

Os dados consolidados pelo SIFRECA para fretes ferroviários não apresentam atualização recente, e, portanto não podem servir de parâmetro para comparação com os demais fretes (rodo e hidroviário).

As tabelas de referência das tarifas do setor ferroviário, estabelecidas nos contratos de concessão e utilizadas pela ANTT na regulação do setor ferroviário, são elaboradas a partir de dados de custos obtidos do Sistema de Custos Operacionais Ferroviários – SICOF e a aplicação do Fator de Ajuste. A abordagem adotada pela ANTT para o cálculo do fator de ajuste na revisão tarifária busca adequar a tabela tarifária de referência às especificidades do transporte ferroviário de cargas, tais como: volume, prazo, sazonalidade da demanda e eficiência nas operações de carga e descarga nos terminais. Basicamente, a forma de apresentação das tabelas de referência contempla 3 (três) parâmetros: faixa quilométrica; parcela fixa; e parcela variável.

As faixas quilométricas são determinadas para cada concessionária de acordo a distribuição de frequência dos fluxos de transporte em função da distância (Tabela 6.4). As parcelas fixas e variáveis são determinadas estatisticamente, a partir dos dados dos dados do SICOF, que utiliza a base de dados de operacionais e financeiros da ANTT, por tipo de produto (ANNT, 2012b). A Tabela 6.5 apresenta um exemplo de tabela de referência com a identificação das parcelas fixas e variáveis, para cada faixa quilométrica, por produto.

**Tabela 6.4** – Faixas quilométricas das concessionárias de referência.

Concessionárias de Referência	Faixa Quilométrica			
	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4
FTC	0 – 200 km	201 – 400 km	401 – 600 km	Acima de 600 km
MRS	0 – 300 km	301 – 600 km	601 – 900 km	Acima de 900 km
ALL	0 – 400 km	401 – 800 km	801 – 1600 km	Acima de 1600 km
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
FCA	0 – 500 km	501 – 1000 km	1001 – 2000 km	Acima de 2000 km
Transordestina	0 – 500 km	501 – 1000 km	1001 – 2000 km	Acima de 2000 km
EFVM	0 – 600 km	601 – 1000 km	1001 – 2000 km	Acima de 2000 km

Fonte: ANTT (2012b).

**Tabela 6.5** – Tabela de referência América Latina Logística Malha Oeste S.A.

Mercadoria	Parcela Fixa		Parcela Variável				Unidade
	Valor		Faixa-1	Faixa-2	Faixa-3	Faixa-4	
Álcool	12,25	R\$/mc	0,0857	0,0772	0,0686	0,0514	R\$/mc.km
Areia	9,80	R\$/t	0,1461	0,1315	0,1169	0,0877	R\$/t.km
Celulose	9,80	R\$/t	0,1053	0,0948	0,0843	0,0632	R\$/t.km
Demais Produtos	14,05	R\$/t	0,1286	0,1157	0,1029	0,0772	R\$/t.km
Ferro Gusa	9,80	R\$/t	0,0904	0,0813	0,0723	0,0542	R\$/t.km
Minério de Ferro	9,80	R\$/t	0,0765	0,0688	0,0612	0,0459	R\$/t.km
Produtos Siderúrgicos	9,80	R\$/t	0,0944	0,0850	0,0755	0,0567	R\$/t.km
Soja	9,80	R\$/t	0,0922	0,0830	0,0738	0,0553	R\$/t.km

Fonte: ANTT, 2012b

A partir dos coeficientes das tabelas de referência, são então calculadas as tarifas máximas por produto, para cada concessionária, respeitando a formulação a seguir.

$$\begin{aligned}
 T_{max} = & \alpha [P_{fix} + Dist \times P_{var1}] + \beta [P_{fix} + L_{dist1} \times P_{var1} + (Dist - L_{dist1}) \times P_{var2}] \\
 & + \gamma [P_{fix} + L_{dist1} \times P_{var1} + (L_{dist2} - L_{dist1}) \times P_{var2} + (Dist - L_{dist2}) \times P_{var3}] \\
 & + \delta \left[ \begin{array}{l} P_{fix} + L_{dist1} \times P_{var1} + (L_{dist2} - L_{dist1}) \times P_{var2} \\ + (L_{dist3} - L_{dist2}) \times P_{var3} + (Dist - L_{dist3}) \times P_{var4} \end{array} \right]
 \end{aligned}
 \tag{6.1}$$

Faixa 1:  $\alpha = 1; \beta, \gamma, \delta = 0$

Faixa 2:  $\beta = 1; \alpha, \gamma, \delta = 0$

Faixa 3:  $\gamma = 1; \alpha, \beta, \delta = 0$

Faixa 4:  $\delta = 1; \alpha, \beta, \gamma = 0$

Onde:

- $T_{max}$  = tarifa máxima a ser cobrada pelo transporte de uma unidade de carga da estação de origem à estação de destino;
- $P_{fix}$  = parcela fixa, em R\$ por unidade de carga;
- $P_{var1}$  = parcela variável, em R\$ por unidade de carga para a faixa 1;
- $P_{var2}$  = parcela variável, em R\$ por unidade de carga para a faixa 2;
- $P_{var3}$  = parcela variável, em R\$ por unidade de carga para a faixa 3;
- $P_{var4}$  = parcela variável, em R\$ por unidade de carga para a faixa 4;
- $L_{dist1}$  = limite superior de distância da faixa 1;
- $L_{dist2}$  = limite superior de distância da faixa 2;
- $L_{dist3}$  = limite superior de distância da faixa 3;
- $Dist$  = distância em quilômetros, da estação de origem à estação de destino.



Para Ferrovia Norte Sul S.A – FNS a composição das tarifas de referência segue uma regra distinta, onde não está prevista a variação por faixa quilométrica. Assim a tarifa máxima de cada produto é calculada como pertencente a primeira faixa, de acordo com a equação (6.1). Assim, a partir das tabelas de referência de tarifas ferroviárias, para cada concessionária podem ser estabelecidos os valores tetos dos fretes cobrados por produto e faixa de distância.

Contudo, como mencionado anteriormente, os valores praticados de frete dependem da política tarifária de cada concessionária, sendo muitas vezes determinados por descontos relativos ao frete rodoviário. Também podem ser reduzidos para os produtos que prioriza transportar e aumentados para os que não interessa, dependendo ainda da disponibilidade de capacidade em cada época do ano.

Os fretes praticados podem ser verificados por meio do Sistema de Controle e Fiscalização do Transporte Ferroviário de cargas – SAFF da ANTT. Os registros da SAFF correspondem ao movimento mensal de cada concessionária e mercadoria transportada. Para se obter uma estimativa do valor do frete por concessionária, tipo de carga e categoria de distância, é necessária uma regressão associando o preço do frete (R\$/t.km), com a distância (km), controlando por ferrovia e tipo de carga.

O ajuste do modelo de regressão é realizado a partir dos registros, sendo ponderados pelo total da tonelagem útil transportada no mês. A ideia de considerar diversos termos de interação é garantir que a superfície da regressão se aproxime das médias de valores de frete em cada ponto (combinação de tipo de carga e concessionária), especialmente nos casos em que o número de registros no ponto é alto.

Entretanto os registros do SAFF, por estarem relacionados ao movimento de cada concessionária, nem sempre apresentam registros suficientes para, aplicar a regressão, e se determinar os fretes praticados para todos os produtos. Além disso o acesso ao SAFF depende de autorização da ANTT.

Em ANTAQ (2013), a partir do acesso ao SAFF, foi aplicada a equação de regressão para os valores de distâncias médias, e obtidas previsões do valor do frete para cada ferrovia e tipo de carga. A Tabela 6.6 apresenta os resultados obtidos das estimativas de frete ferroviário para curta distância (menor que 500 km) e a Tabela 6.7 apresenta os fretes estimados para longa distância (maior que 500 km).

**Tabela 6.6** – Estimativas do valor do frete (R\$/t.km) para curta distância (< 500 km).

Grupo	ALLMO	ALLMP	ALLMS	EFC	EFPO	EFVM	FCA	FNSTN	FTC	MRS	TLSA
Carga Geral	0,033	0,062	0,084	0,108	0,065	0,044	0,059	0,079	0,107	0,107	0,085
Contêiner	0,034	0,050	0,058	0,024	0,044	0,031	0,011	0,078	0,043	0,054	0,074
Gran.Líq.Agríc.	0,027	0,043	0,114	0,035	0,041	0,028	0,041	0,062	0,050	0,068	0,062
Gran.Líq.Comb.	0,030	0,066	0,096	0,103	0,059	0,041	0,034	0,071	0,101	0,098	0,077
Granel Sólido	0,028	0,049	0,065	0,053	0,048	0,043	0,046	0,066	0,065	0,079	0,068
Gran.Sól.Agríc.	0,042	0,073	0,098	0,090	0,073	0,050	0,025	0,098	0,105	0,030	0,102

Nota: Os valores em vermelho foram estimados em condições em que não houve registros válidos.

Fonte: ANTAQ (2013)

**Tabela 6.7** – Estimativas do valor do frete (R\$/t.km) para longa distância (> 500 km).

Grupo	ALLMN	ALLMO	ALLMP	ALLMS	EFC	EFPO	EFVM	FCA	FNSTN	MRS	TLSA
Carga Geral	0,044	0,046	0,045	0,038	0,056	0,017	0,026	0,044	0,030	0,062	0,053
Contêiner	0,090	0,083	0,082	0,053	0,069	0,023	0,037	0,020	0,042	0,057	0,072
Gran.Líq.Agríc.	0,053	0,052	0,051	0,078	0,050	0,016	0,025	0,049	0,029	0,055	0,050
Gran.Líq.Comb.	0,039	0,041	0,046	0,042	0,050	0,015	0,023	0,024	0,027	0,055	0,048
Granel Sólido	0,049	0,049	0,047	0,038	0,051	0,016	0,033	0,046	0,029	0,057	0,051
Gran.Sól.Agríc.	0,067	0,068	0,066	0,053	0,074	0,023	0,035	0,023	0,041	0,021	0,073

Nota: Os valores em vermelho foram estimados em condições em que não houve registros válidos.

Fonte: ANTAQ (2013)

Na análise das tarifas máximas e dos fretes praticados observa-se uma grande variação de preços, o que reforça as considerações anteriores sobre os fretes praticados dependerem da política tarifária das concessionárias. Contudo, a análise de regressão apresentada por ANTAQ (2013), apresenta uma parte considerável de estimativas geradas sem o número suficiente de registros válidos.

Desta forma, as informações do SAFF servem aqui somente para análise das diferenças entre as tarifas máximas e os fretes praticados, preferindo-se utilizar os dados da tabela de referência de tarifas máximas da ANTT, pois estas estabelecem uma regra geral para cobrança dos fretes e, além disso, limitam um teto ao valor aplicado, possibilitando que se avaliem os níveis de descontos tarifários diretamente pelo modelo.

#### 6.1.5.3 Fretes Hidroviários

O SIFRECA disponibiliza alguns dados sobre fretes hidroviários, contudo, a coleta de informações não está sistematizada. Os fretes hidroviários sofrem variações significativas em função da hidrovia, da época do ano, dos produtos transportados, da empresa transportadora, motivo pelo qual estabelecer uma média da variação dos valores praticados se torna uma tarefa que requer cuidado.

A Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ, por meio de sua Gerência de Desenvolvimento e Regulação – GDI, no cumprimento de uma das atribuições regimentais, acompanha no Sistema Mercante da Diretora do Departamento do Fundo de Marinha Mercante, da Secretaria de Fomento para Ações de Transportes do Ministério dos Transportes, as informações sobre os fretes hidroviários.

Este sistema é responsável pelo armazenamento das informações dos conhecimentos de embarque das empresas de navegação que tem interesse nas vantagens do Adicional de Frete para Renovação da Frota de Marinha Mercante – AFRMM.

A equipe da GDI coleta os dados do sistema com o objetivo de construir um banco de informações de frete capaz de subsidiar os estudos hidroviários no País. Com o tempo, espera-se a obtenção de estimativas consistentes do frete praticado por natureza do produto e região, a quantificação da sazonalidade e de outras variáveis que influenciam no frete unitário (R\$/t.km) e a identificação de empresas e instalações portuárias não autorizadas em operação.

Para elaboração do Plano Nacional de Integração Hidroviária – PNIH (ANTAQ, 2013), foram analisados de forma preliminar, 355 conhecimentos de embarque dos anos de 2010 e 2011. Os resultados subsidiaram a estimativa de fretes hidroviários do referido plano.

Os registros avaliados continham informações sobre origem, destino e custo da viagem para os diversos grupos de produtos. Para a determinação dos fretes, foi calculada a distância hidroviária entre esses portos e, então, encontrado o valor de frete em reais por tonelada-quilômetro.

Fez-se uma exploração do efeito da distância no preço do frete e, para isto, consideraram-se duas faixas de distância: até 1.000 quilômetros (curta) e mais de 1.000 quilômetros (longa). Essa análise sugere que granel líquido combustível, granel sólido agrícola e granel sólido têm preços diferenciados pela distância.

A Tabela 6.8 apresenta a estimativa do valor do frete para o modo hidroviário, por grupo de produto, por faixa de distância, incluindo intervalo de 95% de confiança para a média, nas duas últimas colunas.

**Tabela 6.8** – Estimativa de frete hidroviário (R\$/t.km), por tipo de carga e faixa de distância.

<b>Tipo de produto</b>	<b>Frete Estimado</b>	<b>LI (95%)</b>	<b>LS (95%)</b>
Carga Geral	0,044	0,042	0,046
Granel Líquido Agrícola	0,068	0,067	0,068
Granel Líquido Combustível (curta distância)	0,135	0,121	0,150
Granel Líquido Combustível (longa distância)	0,084	0,074	0,095
Granel Sólido (curta distância)	0,059	0,055	0,062
Granel Sólido (longa distância)	0,022	0,021	0,023
Granel Sólido Agrícola (curta distância)	0,056	0,054	0,057
Granel Sólido Agrícola (longa distância)	0,020	0,018	0,023

Nota: LI (95%) = limite inferior e LS (95%) = limite superior e do intervalo de 95% de confiança.

Fonte: ANTAQ (2013)

No desenvolvimento dos estudos do Corredor Bioceânico (BNDES, 2011), foram efetuados contatos com sete empresas que prestam esse tipo de serviço no Paraná-Paraguai, na movimentação de diversos tipos de produtos, para obtenção dos fretes praticados no transporte hidroviário. Além dos fretes hidroviários, foram obtidas as taxas cobradas na movimentação de cargas nos terminais. Complementarmente, foram coletadas informações sobre os fretes praticados na hidrovía Tietê-Paraná com outra empresa que ali opera.

Os principais produtos transportados pelos rios Paraná-Paraguai são soja, farelo de soja e minério de ferro. Seus fretes variam em função da época do ano, motivo pelo qual foi tomada uma média da variação dos valores informados. O frete médio para o transporte de minério de ferro por via hidroviária situa-se em R\$ 29,6 por 1.000 toneladas-quilômetro e para o transporte de grãos em R\$ 26,5 por 1.000 toneladas-quilômetro. Tanto o minério de ferro como os grãos são transportados em conjuntos transportadores, tracionando 1.200 a 1.600 toneladas (BNDES, 2011).

Os fretes por tonelada no Paraná-Paraguai, para transporte de granel líquido, variam em função do calado do rio por ocasião do transporte. A capacidade de um conjunto transportador se situa entre 1.300 a 1.800 toneladas de granel líquido.

O frete na hidrovía do Tietê-Paraná, para transporte de grãos, referente ao trecho de São Simão/GO a Pederneiras/SP, com 650 km, situa-se em R\$ 34,00 por tonelada transportada, ou R\$ 52,30 por 1.000 toneladas-quilômetro.

De posse dessas informações e das distâncias de transporte entre os portos hidroviários, podem ser obtidos os fretes médios por tonelada-quilômetro, por tipo de produto, apresentados na Tabela 6.9.

**Tabela 6.9** – Estimativa de frete hidroviário (R\$/t.km), por tipo de carga nas hidrovias pesquisadas.

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

Fonte: BNDES (2011)

Pela análise dos resultados, verifica-se que o frete hidroviário para transporte de granéis sólidos no Tietê-Paraná é bem superior ao da hidrovia Paraná-Paraguai. Isso se deve a diversos fatores, entre eles, podem ser citados a distância de transporte, as impedâncias à navegação no Tietê, a tonelage média dos conjuntos transportadores e o nível de frete praticado pelas modalidades concorrentes.

Observa-se que na tabela de fretes médios de granéis sólidos da Tabela 6.9, que os fretes das Hidrovias Paraná-Paraguai e Tietê-Paraná, equivalem aproximadamente aos fretes de longa e curta distância, do estudo da ANTAQ (2012).

Devido à dificuldade de obtenção de dados sistematizados dos fretes hidroviários, da diversidade de fatores que influencia na sua determinação e do conjunto de variações passíveis de análise, para esta aplicação se adotou um valor de frete hidroviário médio, para granéis vegetais, de R\$ 0,050 / tonelada.

#### *6.1.5.4 Custos de Movimentação de Carga, Armazenagem e Serviços Logísticos no CIL*

Além dos custos de transporte, representados pelos fretes, a utilização de um centro de integração logística deve adicionar ao custo total, minimamente os custos dos serviços oferecidos no CIL. O CIL definido para esta aplicação possibilita integração rodo-ferroviária ou rodo-hidroviária. Para fins desta proposição não se considerará a integração ferro-hidroviária. Assim, o CIL definido visa apenas consolidação de cargas, para uso de modos de maior capacidade e menor custo, não oferecendo, portanto, serviços adicionais, como armazenagem e conservação ou agregação de valor às cargas.

No entanto será levado em conta um custo de armazenagem mínimo, devido ao fato do recebimento e expedição de cargas no CIL não acontecer de forma simultânea. Também serão computados os custos dos serviços básicos de manipulação da carga no recebimento e expedição. Todos estes custos variam em função dos volumes de carga. Além dos custos variáveis, associados aos volumes de carga movimentados no CIL, deve ser considerado um custo fixo para utilização do CIL, uma taxa administrativa que visa cobrir os custos de manutenção da estrutura em funcionamento.

De forma análoga ao SIFRECA, o Sistema de Informações de Armazenagem – SIARMA é um projeto do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ da Universidade de São Paulo – USP, sob a responsabilidade técnica dos pesquisadores do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial – ESALQ-LOG. Tem como objetivo o desenvolvimento e caracterização das tarifas do armazenamento de carga, com destaque para soja, milho e trigo.

A partir da análise de custos de armazenagem e informações qualitativas sobre o mercado agrícola, o SIARMA levanta informações que, de maneira integrada com o SIFRECA, tem se mostrado essenciais ao dimensionamento de projetos logísticos voltados aos complexos agroindustriais (ESALQ-LOG, 2013). No entanto o projeto SIARMA ainda está em desenvolvimento e os dados já consolidados não estão atualizados e compatíveis com as demais informações levantadas para aplicação do modelo.

A Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, empresa pública, vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Responsável por administrar os armazéns públicos, a CONAB divulga periodicamente tabelas de referência com tarifas de armazenagem. O Quadro 6.2 apresenta um exemplo da tabela tarifária publicada pela CONAB.

**Quadro 6.2** – Tabela de tarifas para produtos vinculados à PGPM\* e estoques estratégicos – vigência março de 2013.

<b>Discriminação</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
<b>1- Recebimento ou Expedição</b>		
a) Ensacado (recepção/expedição)	R\$/tonelada	1,88
b) A Granel (recepção)	R\$/tonelada	2,10
c) A Granel (expedição)	R\$/tonelada	2,10
d) Enfardado (recepção/expedição)	R\$/tonelada	2,07
e) Sacaria vazia enfardada (recepção/expedição)	R\$/1.000 Sac.	1,37
f) Operações via ferroviária, acrescentar	R\$/tonelada	1,21
g) Operações via hidroviária, acrescentar	R\$/tonelada	1,21
<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	R\$/1.000 Sac.	3,17
m) Sacaria mag-bag vazia	R\$/unidade	0,14
n) Cera de carnaúba e pó cerífero ensacados	R\$/tonelada	2,12
o) Lata para sementes de juta (32x15x15) cm	R\$/100 unid.	0,53
p) Sisal rami e juta/malva (fibras soltas ou embonecadas)	R\$/tonelada	7,59
q) Granéis líquidos		
q-1) óleos vegetais	R\$/tonelada	2,01
q-2) vinhos comuns	R\$/1.000 litros	1,76
q-3) vinhos víniferas	R\$/1.000 litros	2,01
q-4) mosto sulfitado e álcool vínico	R\$/1.000 litros	2,42
r) Leite em pó ensacado	R\$/m2	6,92
s) Café em grãos	R\$/tonelada	2,83
t) Demais produtos		
t-1) ensacados	R\$/tonelada	1,46
t-2) a granel (arroz, cevada, malte crescer 30%, aveia 50%)	R\$/tonelada	2,01
t-3) enfardados	R\$/tonelada	3,17
<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)	R\$/tonelada	13,13
v) Idem para outros Produtos	R\$/tonelada	8,95
x) Para cada percentual acima de 16% acrescentar	%	8%
<b>6- Limpeza</b>	R\$/tonelada	2,37
7- Emissão de warrants/conhecimento de depósito/CDA/WA	R\$/documento	8,00
8- Comissão de permanência	-	conf.obs
<b>9- Serviços de Braçagem</b>	-	conf.obs
<b>10- Serviços não especificados</b>	-	a combinar

\*PGPM: Política de Garantia de Preços Mínimo

Fonte: CONAB (2013)

Para uso do Quadro 6.2 é necessário o entendimento dos principais itens que a compõem, e suas relações, de forma a apropriá-los adequadamente na definição dos custos do CIL proposto:

- Recebimento ou Expedição: Refere-se às operações de pesagem, amostragem, conferência, verificação de qualidade, marcação, determinação de umidade e impurezas, emissão dos documentos e outras operações na entrada e saída da unidade.
- Armazenagem e Conservação: Engloba todas as operações e tratamentos fitossanitários necessários a conservação das mercadorias armazenadas bem como a remuneração do espaço ocupado.
- Taxa de Administração: Taxa incidente sobre serviços braçais (efetuado por sindicato de Braçagista ou Associações) e demais serviços prestados por terceiros, não sendo devido se a armazenadora utilizar braçagem própria.
- Secagem: Redução do teor de umidade das mercadorias aos níveis recomendados para estocagem e reensaque do produto se for o caso.
- Limpeza ou pré-limpeza: Redução das impurezas dos grãos aos níveis recomendados para armazenagem, retirada de amostra, ensaque de resíduos e reensaque do produto, se for o caso.
- Serviços de braçagem: Serviços avulsos executados no recebimento, organização e expedição de mercadorias ensacadas, a granel e enfardadas, de acordo com o estabelecido no Contrato de Depósito.
- Sobretaxa: Tem o objetivo de garantir o ressarcimento, pela depositária, das perdas de quaisquer natureza, depreciações, sinistros e avarias ocorridas ao produto/embalagem, ainda que em decorrência de caso fortuito e/ou força maior.
- Na prestação de serviços, itens 1, 5 e 6 haverá acréscimo de 10% (dez por cento) para os subitens em que forem utiliza dos equipamentos movidos a gerador.
- O prazo para pagamento deverá ser aquele definido no Contrato de Depósito.
- Os serviços executados em hora extras, após o expediente normal, serão acrescidos de 50% (cinquenta por cento) e nos domingos e feriados, de 100% (cem por cento).

A aplicação proposta considera como produtos os granéis sólidos vegetais, mais especificamente a soja, o farelo de soja, o milho e o açúcar. Desta forma, serão considerados como custos de recebimento e de expedição, aqueles apresentados nos itens



b) e c) do Quadro 6.2. Além destes, como está prevista integração ferroviária ou hidroviária, devem ser adicionados os custos dos itens f) ou g), respectivamente. De forma geral, será computada a sobretaxa de granéis agrícolas, conforme item h), mesmo esta sendo indicada apenas para soja e milho. Esta simplificação é necessária para se possa estabelecer um custo único para o CIL estabelecido na definição da aplicação.

A taxa de armazenagem, referente aos custos de mão de obra e preservação do produto através dos tratamentos, é cobrada de acordo com o período que o produto fica armazenado. Geralmente, são cobrados a cada 15 dias, e seu valor varia de acordo com as empresas. Assim, para aplicação proposta será considerado um período de armazenagem de 15 dias, sem a necessidade de serviços adicionais de secagem, limpeza, etc. A escolha de computar uma quinzena de armazenagem visa levar em conta a necessidade de um período mínimo para ajuste dos tempos de recebimento, agregação e redespacho das cargas. Assim, supõem-se, na aplicação proposta nesta Tese, que estes tempos não ultrapassariam uma quinzena e assim, a armazenagem necessária ficaria coberta pela taxa quinzenal de armazenagem de granéis. Desta forma, será computado como custo mínimo de armazenagem, o valor identificado no item t2) do Quadro 6.2.

A taxa de administração, no Quadro 6.2, é apropriada de forma variável e não fixa como definido para esta aplicação. Desta forma, será apropriado o valor referente à taxa administrativa, como percentual adicionado aos custos totais, no custo variável do CIL e, para o custo fixo do modelo matemático será adotado um valor simbólico de R\$ 1,00. O Quadro 6.3 apresenta o resumo dos custos considerados para operação do CIL, no escopo da aplicação proposta.

**Quadro 6.3** – Custos de operação do CIL.

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

Fonte: CONAB (2013)

#### *6.1.5.5 Custos no Terminal de Transbordo*

Transbordo é o processo pelo qual as mercadorias são transferidas de um meio de transporte para outro. Terminal de transbordo, portanto, é uma instalação onde ocorrem operações de transferência de carga. Contudo terminais de embarque de mercadoria em modos como hidroviário, ferroviário, portuário, aeroviário, geralmente comportam operações além da operação de transbordo, principalmente se as cargas provem do transporte rodoviário.

Para a aplicação proposta, os terminais de embarque de mercadorias nos modos hidro e ferroviário, com cargas provenientes do modo rodoviário, onde além da transferência de modo são necessárias operações de consolidação das cargas, serão tratados como terminais de integração modal. As operações e custos dos terminais de integração modal, aqui tratados como CIL, foram descritos anteriormente no item 6.1.7.4.

Nos trabalhos apresentados por BNDES (2011) e ANTAQ (2013), são estimados custos de transbordo em terminais ou portos ferro e hidroviários, e, portanto os custos apresentados são mais próximos daqueles já definidos para CIL.

Terminais de transbordo para fins desta aplicação são os terminais onde ocorrem a conexão e transferência das cargas dos modos hidro e ferroviário para entrega da mercadoria pelo modo rodoviário no destino. Desta forma, os custos de utilização deste tipo de terminal serão simplificados em relação aos custos definidos para o CIL.

Levando em conta que muitas vezes o custo de transbordo do transporte ferroviário e hidroviário para entrega pelo modo rodoviário está, de alguma forma, incluído no frete, nesta aplicação adotamos um custo simbólico para os terminais de transbordo no destino, equivalente aquele indicado no Quadro 6.3 para operações ferroviárias ou hidroviárias, ou seja, R\$ 1,21 /tonelada.

#### **6.1.6 Definição da Capacidade e Valor de Investimento no CIL**

Além das informações sobre fretes e custos de operação do CIL, o modelo matemático demanda informações sobre as capacidades mínimas e máximas de operação do CIL, bem como os valores de investimentos necessários para sua implantação.

Sabe-se que os volumes de carga movimentados em um CIL definirão seu tamanho. Para que seja viável sua implantação, esse tamanho deve considerar um valor

mínimo de movimentação, para que o investimento neste tipo de infraestrutura seja justificado. Além disso, a disponibilidade de recursos e de área para construção limitam o tamanho dos CIL.

Os investimentos para implantação, dentre outros fatores, dependerão do tamanho dos CIL, e podem variar ainda conforme sua especialidade ou diversidade de cargas, e localização. Contudo, na aplicação proposta as capacidades mínimas e máximas de operação do CIL, assim como os valores de investimento para implantação, não são diferenciadas por CIL, ou seja, os valores definidos para capacidade e valor de investimento são iguais para todos os CIL avaliados. Esta premissa é uma simplificação, adotada para que se possa avaliar a capacidade do modelo matemático em determinar a localização das instalações sem considerar as particularidades regionais que podem ser observadas num caso real.

O volume mínimo de operação adotada para os CIL, inicialmente foi igualada a zero, o que pode resultar em um número maior de CIL de tamanhos menores. Posteriormente foram consideradas limitantes de volume mínimo de CIL, visto que em uma situação real, a implantação de uma estrutura do tipo CIL precisa ser justificada por um volume mínimo de movimentação, e este deve ser ao menos compatível com a de uma carga ferroviária ou hidroviária. Assim, quando utilizada, a limitação de volume mínimo de ativação do CIL foi adotada igual a um milhão de toneladas.

A adoção de um milhão de toneladas como volume mínimo de ativação do CIL baseou-se no fato de que utilização de uma estrutura deste tipo deve ser prevista para atender, no mínimo, os contratos com transporte ferroviário e/ou hidroviário. Em geral tais contratos estabelecem um volume mínimo anual de transporte com os demandantes de transporte. Como a proposição tem como objetivo, ao resolver o problema de otimização de custos de transporte, avaliar a definição de áreas prioritárias para instalação de CIL, não foram definidos limites máximos para capacidade dos CIL. Para isto, adotou-se como capacidade máxima de operação do CIL, a produção total de todos os produtos selecionados para análise, no caso, uma produção igual a 152.380.300 toneladas em 2007 e igual a 305.913.580 toneladas em 2023.

Para os valores de investimento em CIL, baseado nos valores de instalações similares noticiadas no período de avaliação das demais informações apropriadas ao modelo, ou seja, no ano de 2012, foi adotado o valor de R\$ 100.000,00 para instalação de um CIL capaz de movimentar até 300 milhões de toneladas.

## **6.2 CARACTERIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES GEOREFERENCIADAS**

Uma das condições de contorno da proposição proposta é o uso das informações da base georeferenciada do PNLT, de forma a permitir que a validação do modelo contribua com o aperfeiçoamento do Plano Nacional de Logística e Transportes – PNLT, possibilitando o uso otimizado das informações existentes e uma melhor visualização dos resultados.

Assim, considerando o tema e objetivos dessa Tese, se mostra necessária uma breve descrição conceitual e metodológica sobre a formação e uso de sistemas de informações geográficas, pois os mesmos formam as condições elementares de representatividade do que em transportes se classifica como oferta (rede de infraestrutura e serviços de transportes) e demanda (fluxos de movimentos associados ao transporte de mercadorias e pessoas).

Basicamente, os problemas de transportes consideram os elementos territoriais definidos pelas redes de transportes e as áreas e/ou pontos de representatividade social e econômica, associados aos fluxos de mercadorias e pessoas, que juntos definem o funcionamento de um sistema de transportes. Tais fluxos podem ser cientificamente representados como quantitativos de produtos, pessoas ou veículos que se deslocam entre pontos de um território, conectados aos segmentos de um sistema de transportes.

A estruturação do SIG-T aborda combinações entre objetos geográficos (polígonos, linhas e pontos) e atributos (números, textos e imagens), pertinentes a cada tema definido como relevante ao problema de transporte. Assim, as potencialidades dos sistemas georeferenciados são abrangentes e principalmente quando aplicadas para integrar os mecanismos técnicos utilizados nas metodologias de avaliação e solução de problemas de transportes. O Ministério dos Transportes – MT, por meio de seu Sistema de Informações de Planejamento Regional de Transportes – SIG-T, disponibiliza em seu site a rede multimodal considerada no Plano Nacional de Logística e Transportes – PNLT.

### **6.2.1 Características do Zoneamento da Área de Estudo**

A representação da demanda por transportes é realizada através de matrizes contendo alguma medida da intensidade dos deslocamentos entre zonas de transporte. Estas zonas de transporte representam agregações espaciais da multiplicidade de origens

e destinos individuais de cada deslocamento realizado no sistema de transportes. Cada zona de transporte é representada, na rede de simulação, por um polo ou “centroide”, que normalmente corresponde à sede do município polo de cada zona.

A divisão da área de estudo em zonas deve possibilitar a representação das regiões que apresentam características homogêneas em relação à demanda por transporte. Os critérios adotados para a definição do zoneamento do estudo levam em consideração que:

- Cada zona de transporte deve ter como unidade espacial mínima os limites dos municípios;
- Em função do nível de detalhamento desejado, as zonas de transporte podem ser definidas através da agregação de municípios, porém, preferencialmente, correspondendo a alguma unidade espacial adotada pelo IBGE (microrregiões ou mesorregiões homogêneas), de maneira a facilitar a obtenção de dados socioeconômicos e de produção e consumo;
- O zoneamento deve ser detalhado em função da conformação da malha de transportes. Assim, quanto maior a densidade da malha, maior é o detalhamento das zonas de transporte, ou seja, maior a divisão do espaço;
- A região externa à área de estudo, dependendo da existência de potencial de demanda proveniente de outras regiões do país ou de outros países, também deverá ser representada no zoneamento.

Assim, pra fins desta Tese, o zoneamento adotado é composto por microrregiões homogêneas. No total, são consideradas 558 zonas dentro território nacional, e uma zona representando o exterior, totalizando 559 microrregiões de análise.

### **6.2.2 Caracterização da Rede Multimodal do PNLT**

A identificação geográfica da rede de transporte multimodal caracteriza a oferta de transportes da área de estudo, que no caso do PNLT, trata dos arcos e pontos (nós) que permitem simular o transporte de bens e pessoas entre as zonas de origem e destino definidas no estudo. Essa rede é ponderada com parâmetros viários físicos, operacionais, de relevo, de custos, entre outros. Sobre essa oferta são identificados os projetos que se desejam avaliar a viabilidade técnica e econômica.

Desta forma, os resultados advindos da identificação da demanda sobre a oferta devem ser registrados na rede de transportes, com e sem os projetos propostos, cuja

representação gráfica permite visualizar o comportamento dos fluxos obtidos pelo uso de modelos de transportes. Verifica-se na base georeferenciada de dados do PNLT que a rede multimodal de transportes possui no total, mais de 16.260 segmentos.

A oferta de transporte, representada pelas redes viárias (podendo ser multimodais ou não), interliga-se fisicamente a pontos que representam os centros de origens e destinos das demandas que utilizam essa oferta. Nesse contexto, as conexões são estabelecidas entre pontos e áreas representativas de unidades e pontos geográficos oficialmente definidos como sedes de município, microrregiões, regiões e outros recortes geográficos que determinam áreas de ocupação humana, produção, consumo, entre outros fatores, de tal forma que sejam cobertos todos os elementos na área de interesse do estudo de transporte.

Sob a oferta de transportes, tem-se então o processo de alocação de fluxos. Esses fluxos podem ser tratados na unidade toneladas por ano, para um grupo específico de produtos, ou tráfego médio diário anual de veículos, no caso das rodovias (que acabam tendo as duas avaliações).

#### *6.2.2.1 Rede Rodoviária*

A rede rodoviária do PNLT é composta por arquivos que representam informações vetoriais (linhas), de todos os trechos rodoviários da rede federal e redes estaduais e municipais. O arquivo correspondente à base de rodovias apresenta informações associadas a seus segmentos, dentre eles, pode-se destacar, a identificação do código do Sistema Nacional de Viação – SNV, com a descrição do trecho e a identificação do km inicial e do km final, nome da rodovia, trecho coincidente, extensão, jurisdição, tipo de pavimento, tipo de pista, fluxo, velocidade, tipo de relevo, dentre outros.

As rodovias federais, na rede do PNLT totalizam 62.443 km, as federais delegadas 34.688 km, as estaduais 180.602 km, as distritais e municipais 5999 km. Vale ressaltar que a base está completamente conectada em segmentos que representam trechos específicos com os respectivos códigos do Sistema Nacional de Viação. A rede rodoviária é composta por cerca de 12.300 segmentos, considerando rede implantada e planejada. Assim, a diferenciação entre a rede atual e a rede futura ocorre, na maior parte das vezes pela qualificação da rede atual, ou seja, pavimentação, duplicação, concessão de vias existentes ou planejadas, e raras vezes a implantação de novos trechos rodoviários.

#### *6.2.2.2 Rede Ferroviária*

A rede ferroviária do PNLT foi caracterizada inicialmente a partir das bases digitais sobre os modais de transporte oriundas da Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes – GEIPOT. Esta base foi atualizada a partir de consultas à especialistas da área ferroviária, bem como, através de consultas no site da Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT.

A base de dados de ferrovias e estações ferroviárias recebeu várias atualizações que dizem respeito principalmente, às características físicas das bitolas e ao nome da concessionária responsável. Foram feitas ainda edições vetoriais com a inclusão de trechos anteriormente inexistentes.

Os atributos da rede de ferrovias armazenam as informações sobre as principais linhas férreas existentes no País tais como: o antigo nome (antes do Programa Nacional de Desestatização), a data de início de operação da ferrovia após o Programa Nacional de Desestatização (no caso de ferrovias recém-construídas, a informação representa o início de suas atividades), o código ferroviário do SNV, a extensão (km) do segmento, tipo e extensão interna em milímetros da bitola férrea, principais produtos transportados pela ferrovia segundo informações do Ministério dos Transportes e ANTT, situação atual da ferrovia, nome da empresa concessionária e sigla da ferrovia, dentre outros.

A rede ferroviária total do PNLT é composta por 1.024 segmentos, sendo que 755 segmentos, dos quais 19 se caracterizam por trechos de troca de bitola, compõem a rede atual (2007). Assim, a rede futura (2023) incorpora 269 novos segmentos.

#### *6.2.2.3 Rede Hidroviária*

A rede hidroviária também foi estruturada a partir de dados provenientes do GEIPOT, atualizados por informações da Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ, da Agência Nacional de Águas – ANA e do Ministério dos Transportes. São arquivos ligados ao gerenciamento da hidrografia como, bacias hidrográficas, hidrovias, portos, terminais e linhas de cabotagem. Eles estão, em sua maioria, com a codificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, buscando, desta forma, compatibilizar a base não apenas para a modelagem atual, mas também para qualquer dado adicional.

Os atributos da rede hidroviária armazenam informações do tipo: nome da hidrovia, bacia hidrográfica, extensão do trecho, principais produtos transportados, eclusas, dentre outros. A rede hidroviária do PNLT totaliza 174 segmentos, dos quais 166 representam a rede atual, com 12 eclusas e apenas oito segmentos caracterizam a rede futura. Importante destacar que para rede hidroviária, de forma semelhante à rede rodoviária, a ampliação da capacidade atual se dá pela qualificação dos trechos hidroviários existentes e, assim, poucos trechos de navegação novos são incluídos na rede futura.

#### *6.2.2.4 Conexões Intermodais*

Na rede multimodal do PNLT, além das redes de transporte por modo, é possível verificar a existência de segmentos que representam a existência de conexões entre os diferentes modos que possibilitam a transferência de carga entre os diferentes modos.

A inserção das informações georeferenciadas de pontos de transferência modal tem objetivo de complementar o banco de dados do PNLT, possibilitando durante o processo de modelagem, identificar pontos críticos para o transporte multimodal e realização de futuros estudos de demanda para os modais de transporte.

São caracterizados na rede multimodal do PNLT como pontos de transbordo os portos secos, os armazéns de grãos, as indústrias esmagadoras de soja, e as conexões intermodais, que representa todos os pontos de conexão conexões de rodovias, ferrovias, hidrovias, linhas de cabotagem, etc. A utilização das informações georeferenciadas sobre pontos de transbordo intermodal pretende contribuir, a médios e longos prazos, para a otimização de rotas e transporte de mercadorias e no desenvolvimento de projetos de infraestrutura e direcionamento de investimentos. Observam-se na base de dados do PNLT, a ocorrência de 476 pontos de transferência entre os modos rodo e ferroviário, e 86 conexões entre as redes rodo e hidroviária.

### **6.2.3 Matrizes de Produção e Consumo**

A forma tradicional de representar a demanda é mediante uma matriz O/D. A caracterização da matriz é feita por meio da caracterização da cadeia logística e da montagem de um balanço de oferta e consumo em nível nacional. Assim, para cada um dos produtos de análise apresentados no Quadro 6.1, na categoria de grãos vegetais, o



PNLT (MT e MD, 2007) apresenta a sua cadeia produtiva, de modo a ser possível a identificação dos principais insumos necessários para sua produção.

O balanço de oferta e demanda é realizado para cada produto relevante, considerando produção, consumo, importação e exportação por Estado ou outra unidade geográfica. O envio ou recebimento do produto para/de outros Estados é estimado de forma a garantir o equilíbrio entre oferta e demanda. Essa análise é elaborada com base em informações e consultas a fontes oficiais, informações de associações e estudos setoriais.

O objetivo principal da montagem dos balanços oferta/demanda para cada produto de análise consiste na necessidade do entendimento dos fluxos de cada um dos produtos considerados em nível de Estado. Assim, para cada um, são quantificadas, por unidade da federação e zona de transporte, as produções líquidas, as importações, os volumes recebidos de outros Estados, o consumo interno, as exportações, os volumes expedidos para outros Estados e as diferenças geradas pelos estoques. A montagem dos balanços oferta/demanda para cada um dos produtos considerados na análise do PNLТ constitui o requisito fundamental para a montagem das matrizes O/D.

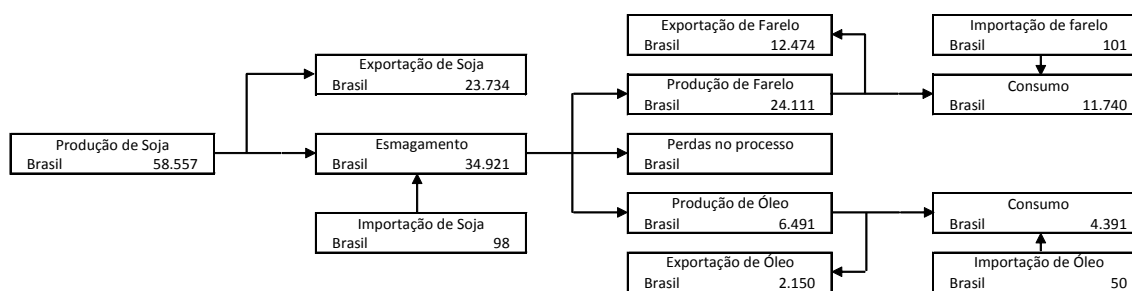
Após a definição das cadeias produtivas e dos balanços oferta/demanda de cada produto relevante, o passo seguinte da metodologia utilizada no PNLТ (MT e MD, 2007) consiste na montagem das matrizes O/D para cada produto de análise. Segue-se a esta etapa, a montagem das matrizes O/D para cada um dos produtos de análise, o passo seguinte para a estimativa das demandas potenciais dos sistemas de transporte de carga consiste na modelagem da escolha modal. A caracterização da cadeia logística é feita mediante análises setoriais considerando-se o processo produtivo, no qual são definidos os insumos necessários para a produção e os coeficientes técnicos contendo a quantidade necessária de insumo por tonelada produzida, elaborada com base em consultas a fontes oficiais de informações, associações, estudos setoriais e entrevistas com agentes relevantes.

A análise espacializada das cadeias produtivas, em que se considera a interdependência produtiva dos agentes relevantes, gera os subsídios para a modelagem dos transportes. Com base nessas informações altamente detalhadas sobre a produção setorial e regional, caracteriza-se um quadro esperado de oferta e demanda microrregional. Desta forma, para cada produto, ou sua respectiva cadeia, é possível mapear 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.

### 6.2.3.1 Soja

Cultivada especialmente nas regiões Centro Oeste e Sul do País, a soja se firmou como um dos produtos mais destacados da agricultura nacional e na balança comercial. Nos últimos dez anos, o crescimento médio da produção nacional de grãos de soja ultrapassou 5% ao ano, atingindo uma produção de cerca de 81 milhões de toneladas na safra 2012/2013, com destaque para a região Centro Oeste, principal produtora do País.

Para avaliar o consumo da soja é importante conhecer a cadeia produtiva do complexo soja, ilustrada na Figura 6.3. Observa-se que a produção de soja destina-se tanto à exportação (em torno de 42%) quanto à moagem, resultando no farelo de soja, utilizado principalmente como ração animal, e no óleo de soja, destinado ao consumo humano.



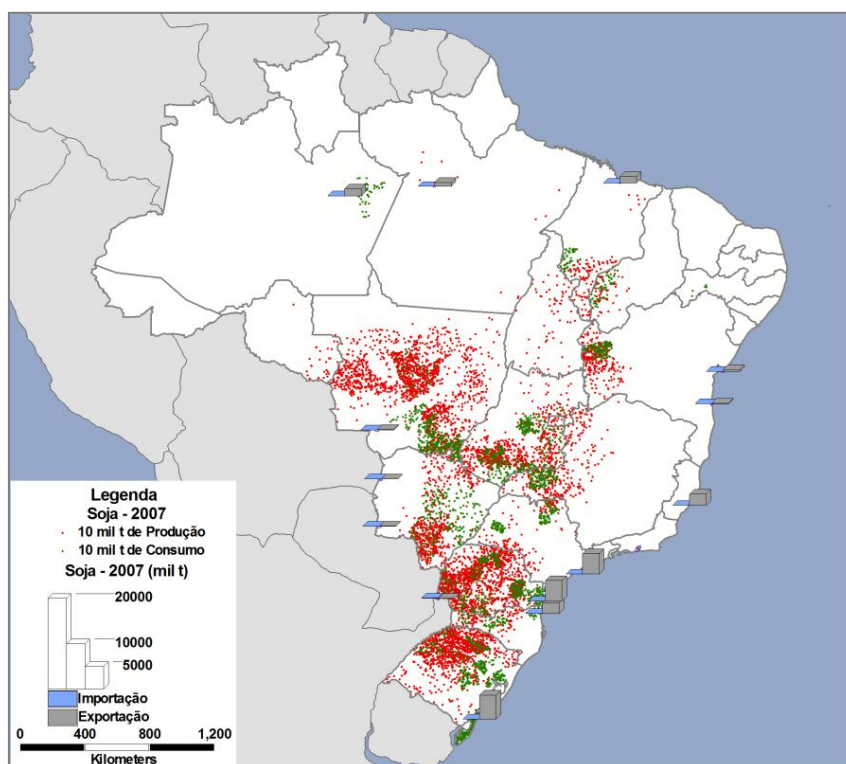
Fonte: PNLT (MT, 2012).

**Figura 6.3** – Cadeia produtiva do complexo soja (em mil toneladas).

A Figura 6.4 ilustra a distribuição espacial da produção, consumo e movimentações de mercados externo e interno da soja referentes ao ano base do PNLT (2007). Segundo dados do PNLT (MT, 2012), a estimativa de crescimento médio anual da produção de soja em grão é de cerca de 3% entre 2007 e 2015. Já no período seguinte, entre 2015 e 2023, essa taxa de crescimento apresenta um ligeiro aumento e fica em torno de 4% ao ano, com destaque para os Estados do Maranhão e Piauí, que apresentam uma taxa de aproximadamente 6% de crescimento médio anual.

A projeção da produção de soja em grão foi considerada um cenário tendencial baseado em expectativas de crescimento dos mercados externo e interno, considerando a expansão da fronteira agrícola atual e o aumento de produtividade. O crescimento do consumo da soja acompanha o aumento da produção de farelo e óleo, ocorrendo a manutenção da participação desses produtos no esmagamento de soja e a instalação de

novas esmagadoras nas fronteiras agrícolas. Já o consumo do farelo acompanha principalmente o crescimento da produção de carnes avícola e suína.

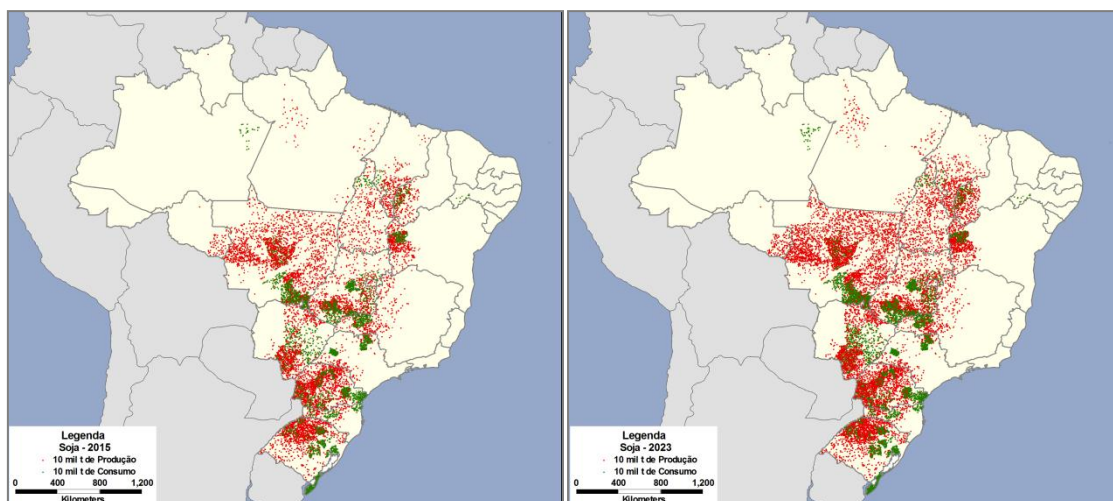


Fonte: PNL (MT e MD, 2009).

**Figura 6.4** – Localização da produção, consumo e movimentação de comércio exterior referente à soja em 2007.

Assim, a produção de soja apresenta crescimento praticamente constante a uma taxa média de 4,5% ao ano entre 2007 e 2023. Entre 2007 e 2023, a taxa de crescimento do consumo apresenta valores médios de 4,5%. No período até 2015, a taxa média de crescimento é de aproximadamente 4% ao ano. Já no período seguinte, entre 2015 e 2023, passa para cerca de 5% ao ano.

A Figura 6.5 mostra a evolução da oferta/demanda da soja, ilustrando os níveis de produção, consumo e movimentações de mercados externo e interno desse produto de 2015 a 2023. O Quadro 6.4 apresenta a matriz O/D para a soja no ano de 2023, consolidada, por simplificação, por região do País.



Fonte: PNLT (MT e MD, 2009).

**Figura 6.5** – Evolução da produção/consumo da soja entre 2015 e 2023.

**Quadro 6.4** – Matriz O/D para a soja – ano 2023.

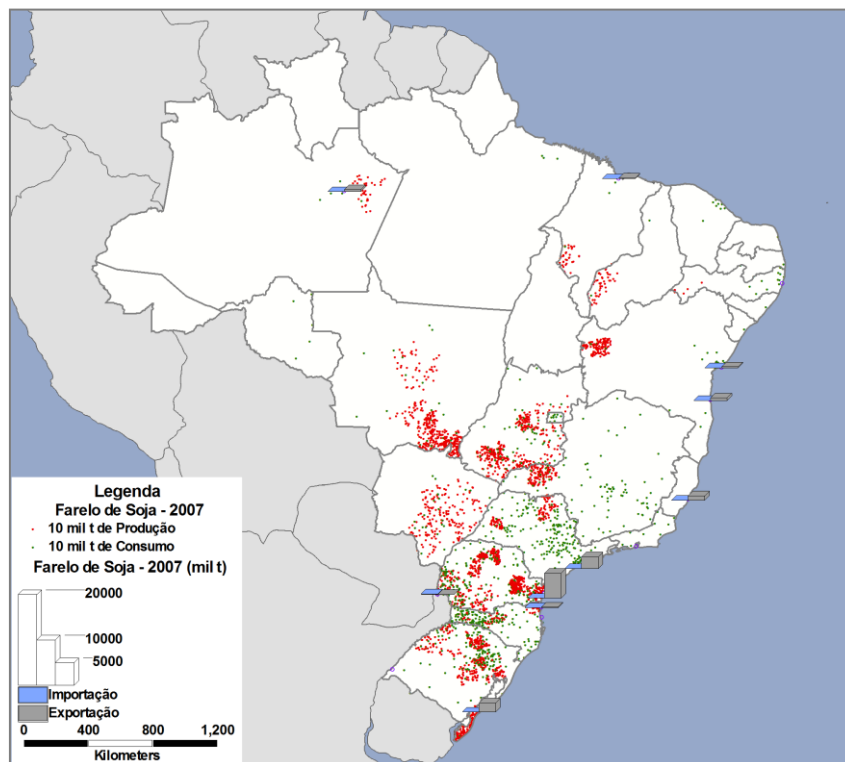
Matriz de produção – consumo para o ano 2023	(mil t)	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro Oeste	Exportação	Produção Total
	Norte	54	138	0	0	56	8.836	9.084
	Nordeste	91	3.887	65	0	1.251	8.517	13.810
	Sudeste	0	0	4.025	5	215	1.391	5.635
	Sul	0	0	656	25.359	0	6.158	32.172
	Centro Oeste	707	0	2.763	2.195	29.388	21.355	56.407
	Importação	0	0	0	0	0		0
	Consumo Total	851	4.025	7.508	27.559	30.909	46.256	117.108

Fonte: PNLT (MT e MD, 2009).

### 6.2.3.2 Farelo de Soja

O farelo de soja, da mesma forma que o óleo deriva da moagem da soja em grão. Desta forma o crescimento da produção de farelo de soja, ocorrendo a manutenção da participação desses produtos no esmagamento de soja e a instalação de novas esmagadoras nas fronteiras agrícolas, acompanha o aumento da produção do consumo de soja em grão. Já o consumo do farelo de soja acompanha principalmente o crescimento da produção de carnes avícola e suína. A Figura 6.6 ilustra a distribuição espacial da

produção, consumo e movimentações de mercados externo e interno do farelo de soja referentes ao ano base do PNLT, ou seja, ao ano de 2007.



Fonte: PNLT (MT e MD, 2009).

**Figura 6.6** – Localização da produção, consumo e movimentação de comércio exterior referente ao farelo de soja em 2007.

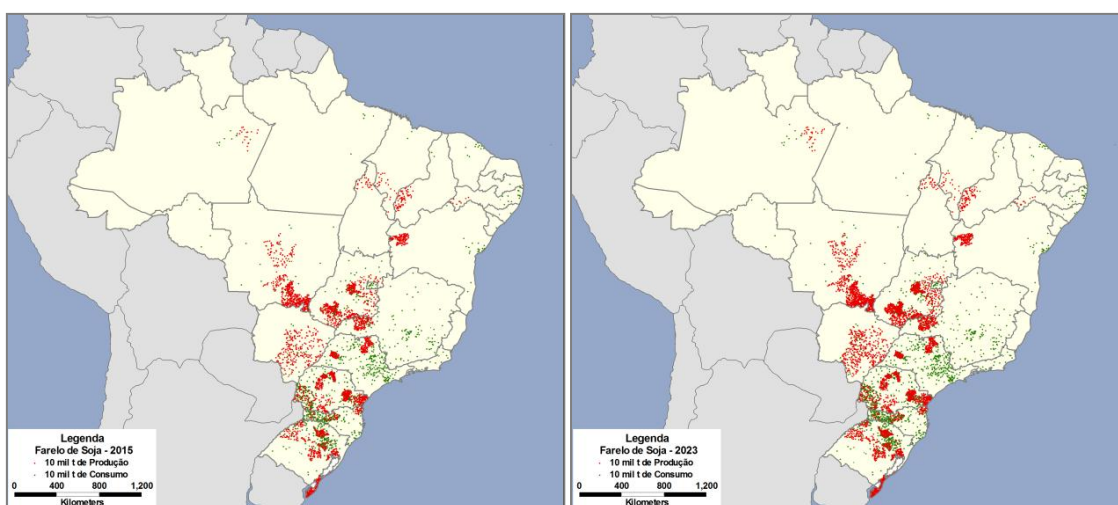
A produção de óleo e farelo de soja está mais concentrada na região Centro–Oeste e Sul. O seu crescimento no país, no período de 2007 a 2015, foi de aproximadamente 4% ao ano, mas as taxas em relação às unidades da federação não são semelhantes. Os Estados que apresentaram maior crescimento nesse período foram Piauí e Santa Catarina.

No período seguinte, entre 2015 e 2023, a taxa anual de crescimento da produção apresentou aumento em quase todos os Estados, destacando–se o Estado do Amazonas que apresentou uma taxa de crescimento anual de 12%.

No período entre 2007 e 2015, a taxa média de crescimento da produção de farelo de soja é de cerca de 6% ao ano. Já no período entre 2015 e 2023 ela cai para cerca de 5% ao ano. Considerando todo o período, entre 2007 e 2023, as taxas são de aproximadamente 5,5% ao ano. O consumo desse produto apresenta crescimento a uma taxa média de cerca de 2% ao ano até 2015 e de 3% no período seguinte. Considerando todo o período, essa taxa é de 2,5% ao ano. Até 2015, a exportação de farelo de soja é

crecente, com taxa da ordem de 8,5% ao ano. No período seguinte, a taxa média de crescimento cai para 5,5%. Considerando todo o período, entre 2007 e 2023, a taxa é de cerca de 7% ao ano (MT, 2012).

A Figura 6.7 mostra a evolução da oferta/demanda relativos ao farelo de soja, ilustrando os níveis de produção, consumo e movimentações de mercados externo e interno desse produto de 2015 a 2023. O Quadro 6.5 mostra a matriz de farelo de soja para 2023, consolidada, por simplificação, por região do País.



Fonte: PNLT (MT e MD, 2009).

**Figura 6.7** – Evolução da produção/consumo de farelo de soja entre 2015 e 2023.

**Quadro 6.5** – Matriz O/D para o farelo de soja – ano 2023.

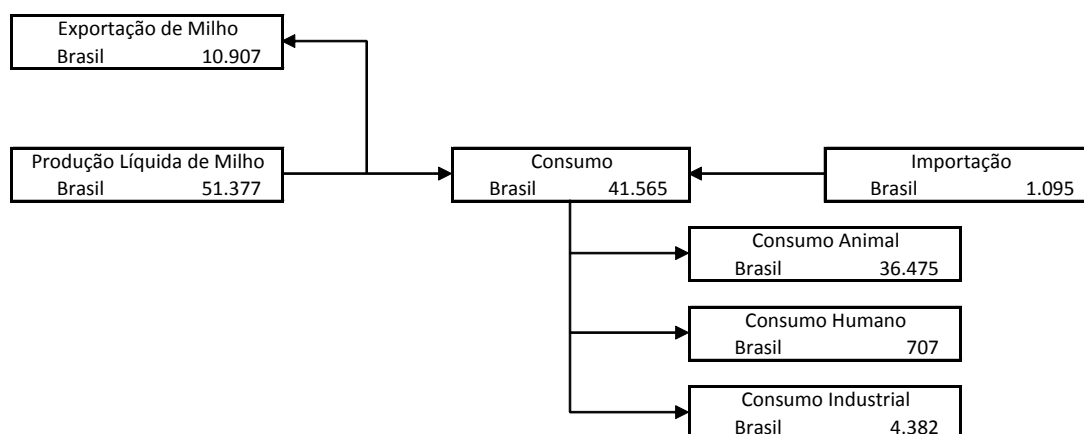
Matriz de produção – consumo para o ano 2023	(mil t)	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro Oeste	Exportação	Produção Total
	Norte	182	74	0	0	0	402	657
	Nordeste	58	1.162	154	0	50	1.682	3.106
	Sudeste	0	43	1.122	54	10	4.535	5.763
	Sul	0	0	787	5.940	0	14.465	21.192
	Centro Oeste	302	364	3.400	1.888	2.044	15.738	23.737
	Importação	0	0	0	0	0		0
	Consumo Total	542	1.644	5.463	7.882	2.104	36.821	54.456

Fonte: PNLT (MT e MD, 2009).

### 6.2.3.3 Milho

O milho é produzido em praticamente todo o País, ocorrendo convivência de culturas de alta produtividade com as de subsistência. Normalmente, as culturas de maior produtividade são desenvolvidas por plantadores de soja, que necessitam efetuar rotação de culturas em suas áreas agrícolas, o que indica que a expansão da área plantada de soja tende a gerar uma expansão da área para cultivo do milho.

O consumo interno de milho vem crescendo devido ao aumento de produção de frangos e suínos para consumo interno e exportação. Já as exportações vêm subindo principalmente em virtude de os Estados Unidos destinarem um volume maior de milho para sua produção interna de álcool e do crescimento do mercado chinês, que terá menos excedentes para exportação. A Figura 6.8 ilustra a cadeia produtiva do milho.



Fonte: PNLT (MT e MD, 2007).

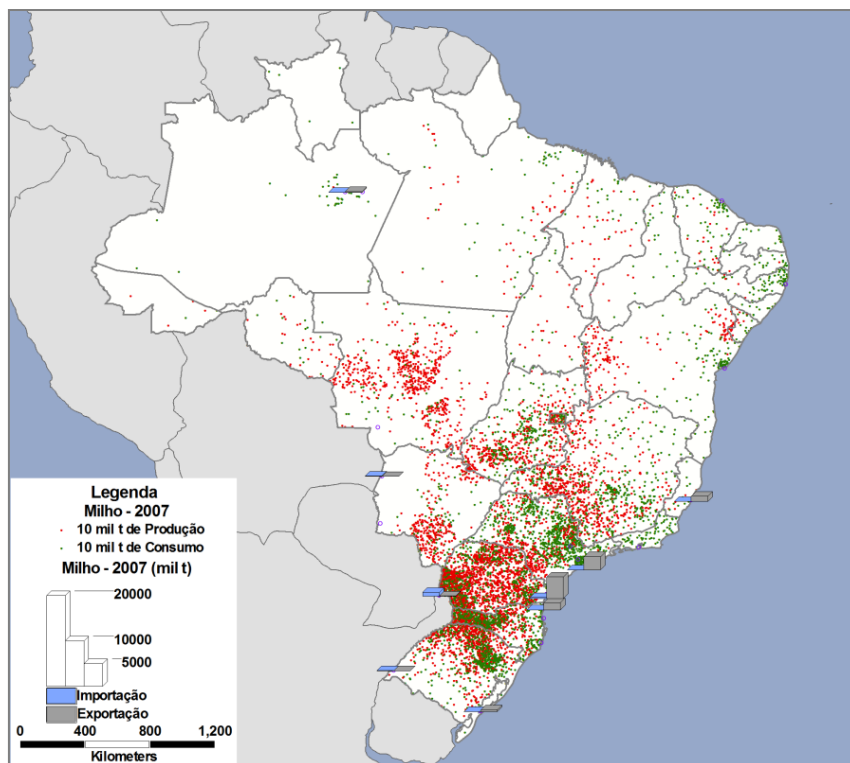
**Figura 6.8** – Cadeia produtiva do milho.

A Figura 6.9 ilustra a distribuição espacial da produção, consumo e movimentações de mercados externo e interno do milho referentes ao ano base do PNLT (2007).

O maior produtor do Brasil de milho em grão é o Estado do Paraná, com cerca de 14 milhões de toneladas (27% do total) produzidas em 2007, seguido pelos Estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Mato Grosso, que juntos correspondem a cerca de 35% da produção total do país no mesmo ano (MT, 2012).

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. As taxas de crescimento da produção de milho em grão previstas são de aproximadamente 3% ao ano no período de 2007 a 2015. Entre 2015 e 2023 essa taxa de crescimento é um pouco maior, cerca de 4% ao ano, mas a partir de 2023, volta a apresentar uma média de 3% ao ano.



Fonte: PNL (MT e MD, 2009).

**Figura 6.9** – Localização da produção, consumo e movimentação de comércio exterior de milho referente a 2007.

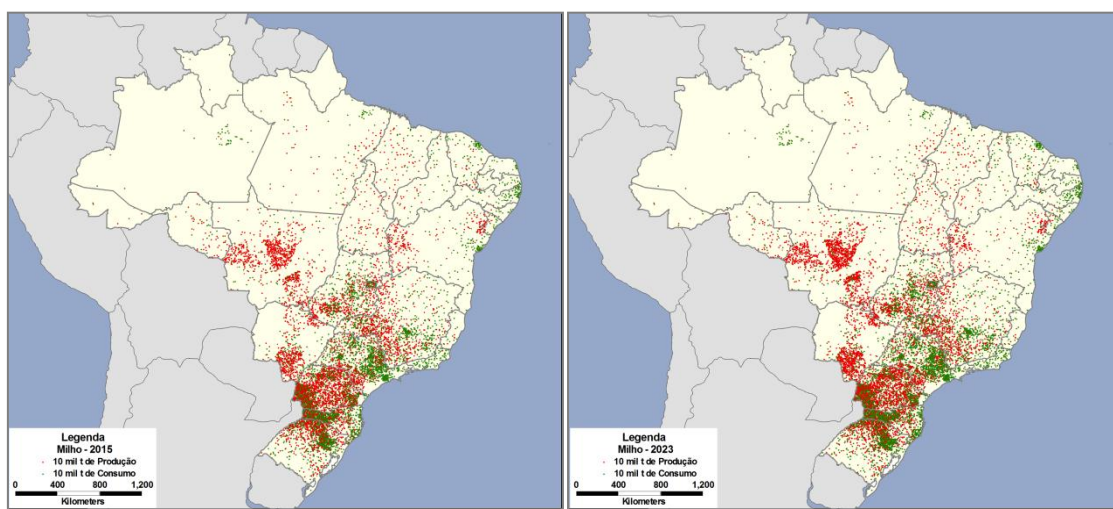
Já o aumento do consumo é vinculado principalmente ao crescimento da produção de carnes avícola e suína e ao crescimento populacional. Com base nesses critérios, a taxa de crescimento da produção de milho no período de 2007 a 2015 é de aproximadamente 2,5% ao ano. Já no período seguinte ela cai para 1,5% ao ano. Considerando todo o período, de 2007 a 2023, essas taxas sobem para cerca de 2% ao ano. O consumo desse produto apresenta crescimento praticamente constante, de 2,8% ao ano, ao longo de todo o período.

A exportação de milho, entre 2007 e 2015, sobe a uma taxa média de cerca de 1% ao ano. Já entre 2015 e 2023, a exportação passa a decrescer 4,5% ao ano. Em todo o período considerado, a exportação decresce a uma taxa média de aproximadamente 2% ao



ano. Isso se deve ao fato de o crescimento da produção não acompanhar o forte crescimento do consumo (MT, 2012).

A Figura 6.10 mostra a evolução da oferta/demanda do milho, ilustrando os níveis de produção, consumo e movimentações de mercados externo e interno desse produto no período de 2015 a 2023. O Quadro 6.6 apresenta a matriz O/D para o milho para o ano 2023, consolidada, por simplificação, por região do País.



Fonte: PNLT (MT e MD, 2009).

**Figura 6.10** – Evolução da produção/consumo de milho entre 2015 e 2023.

**Quadro 6.6** – Matriz O/D para o milho – ano 2023

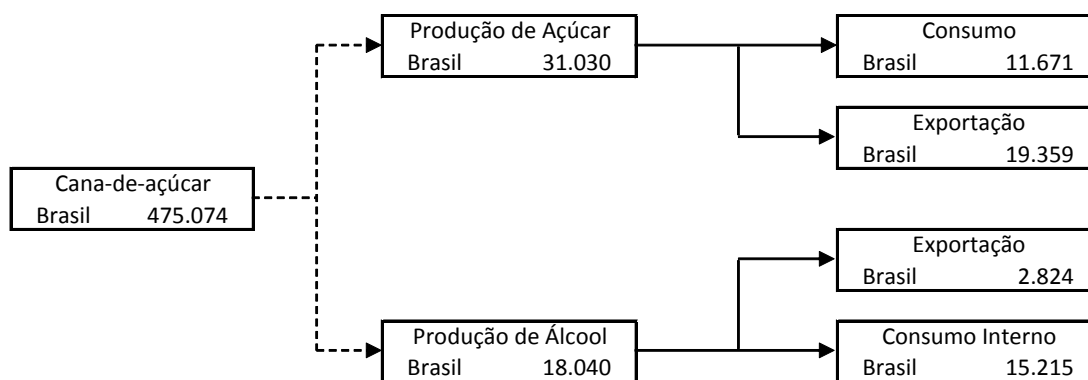
Matriz de produção – consumo para o ano 2023	(mil t)	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro Oeste	Exportação	Produção Total
	Norte	1.326	420	134	0	5	1.055	2.940
	Nordeste	64	2.991	271	0	0	1.202	4.528
	Sudeste	0	166	10.206	19	0	1.524	11.914
	Sul	0	0	2.971	23.450	6	1.563	27.990
	Centro Oeste	598	2.443	6.458	5.466	7.710	2.918	25.592
	Importação	0	0	0	0	0		0
	Consumo Total	1.988	6.019	20.040	28.934	7.721	8.261	72.963

Fonte: PNLT (MT e MD, 2009).

#### 6.2.3.4 Açúcar

A cana-de-açúcar é um produto característico de consumo interno, e a partir de seu esmagamento obtêm-se o açúcar e o álcool. A escassez de novas áreas para expansão da produção de cana-de-açúcar nos Estados produtores tradicionais proporciona seu deslocamento em direção ao Norte e ao Nordeste.

O Brasil produziu cerca de 31 milhões de toneladas de açúcar em 2007, dos quais 65% foram destinados ao mercado externo, sendo o País o maior exportador mundial desse produto. Há uma expectativa de aumento do volume exportado por diminuição de subsídios concedidos pela União Europeia aos seus produtores. A cadeia produtiva da cana-de-açúcar é ilustrada na Figura 6.11.



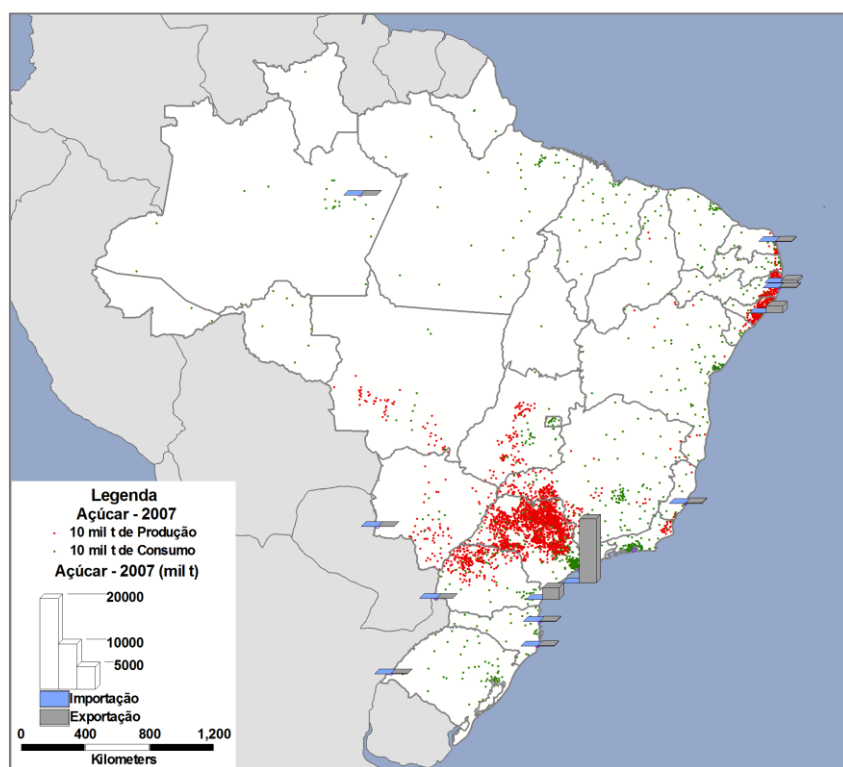
Fonte: PNLT (MT e MD, 2007).

**Figura 6.11** – Cadeia produtiva do complexo cana-de-açúcar.

Além disso, inovações tecnológicas e geração de bens em cadeias produtivas agregam, em cada fase, valores monetários desproporcionais às necessidades de transportes. A cada elo de uma cadeia produtiva, novos percentuais de quantum e novas “portabilidades” de carga alteram a relação entre toneladas transportadas e respectivos valores monetários da carga. Exemplos: cana-de-açúcar, álcool e açúcar refinado, na cadeia produtiva da cana-de-açúcar, ao produto in natura é agregado um valor monetário inversamente proporcional ao agregado ao quantum da cadeia, pois o volume da produção de cana-de-açúcar é muito superior ao volume de álcool ou açúcar refinado resultante do processo. A Figura 6.12 apresenta os volumes de produção, consumo e movimentações do mercado externo do açúcar referentes ao ano base do PNLT (2007).

A produção de açúcar no Brasil, concentrada principalmente em São Paulo, deve apresentar, em todo o período analisado (2007–2023), uma taxa de crescimento médio anual em torno de 2%, entretanto essa taxa varia bastante entre os Estados para cada um dos três períodos analisados. O crescimento do consumo interno de açúcar está diretamente ligado ao crescimento da população. A produção, além de atender ao mercado interno, deve atender às expectativas de crescimento de mercado externo, ocorrendo descentralização da produção.

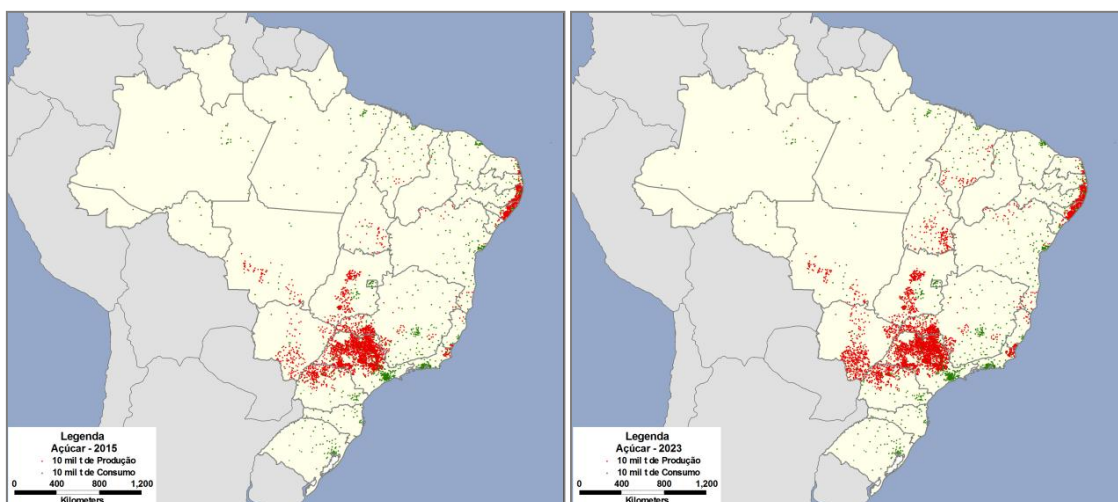
As taxas de crescimento da produção de açúcar apresentam tendência de crescimento praticamente constantes ao longo de todo o período com taxa média de 3,5% ao ano. Entre 2007 e 2023, a taxa média de crescimento do consumo se mantém constante, com valores da ordem de 1% ao ano. No período até 2015, a taxa média de crescimento da exportação do açúcar é de aproximadamente 5% ao ano. No período seguinte, ela cai para cerca de 4% ao ano.



Fonte: PNL (MT e MD, 2009).

**Figura 6.12** – Localização da produção, consumo e movimentação de comércio exterior referente ao açúcar em 2007.

Entre 2007 e 2023, a exportação do açúcar cresce 4,5% ao ano (MT, 2012). A Figura 6.13 mostra a evolução da produção e do consumo do açúcar, ilustrando os níveis de produção, consumo e movimentações de mercados externo e interno desse produto no período de 2015 a 2023. O Quadro 6.7 apresenta a matriz O/D para o açúcar para o ano 2023, consolidada, por simplificação, por região do País.



Fonte: PNLT (MT e MD, 2009).

**Figura 6.13** – Evolução da produção/consumo de açúcar entre 2015 e 2023.

**Quadro 6.7** – Matriz O/D para o açúcar – ano 2023.

Matriz de produção – consumo para o ano 2023	(mil t)	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro Oeste	Exportação	Produção Total
	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
	Importação	0	0	0	0	0		0
	Consumo Total	1.112	3.915	5.932	2.034	1.005	39.001	52.998

Fonte: PNLT (MT e MD, 2009).

#### *6.2.3.5 Microrregiões de produção e consumo dos principais produtos*

A partir da definição dos produtos que farão parte da aplicação, e considerando o zoneamento adotado, é possível, a partir das informações associada à base georeferenciada do PNLT, identificar, para o ano base (2007), que do total de microrregiões, 254 são produtoras de soja, 534 de milho, 51 de farelo de soja e 419 de açúcar. Em relação ao consumo, se observa o consumo de soja em 52 microrregiões, e dos demais produtos o consumo é pulverizado em 553 microrregiões.

Apesar da tendência de expansão da área de plantio, no horizonte futuro (2023), se observa uma pequena variação, nas microrregiões produtoras de soja e açúcar e praticamente a mesma distribuição de áreas produtoras de milho e farelo de soja. Em relação ao consumo, a soja passa a ser consumida em 54 microrregiões, e os demais produtos continuam com consumo pulverizado em 553 microrregiões.

## 7. APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Os investimentos em infraestrutura de transporte visam atender às diversas demandas socioeconômicas, além de questões ambientais, de segurança nacional, integração estratégica, entre outros aspectos. O PNLT tem como principal objetivo planejar os investimentos em infraestrutura de transportes para que haja a racionalização do uso dos diferentes modos e redução dos custos de transporte no País.

Nesse contexto, verifica-se que a proposição de um mecanismo técnico e científico de suporte às tomadas de decisões de investimentos em estruturas de integração logística, encontra validação e motivação para a aplicação proposta e conceituada nesta Tese. A aplicação do modelo matemático consiste em uma sequência de rotinas e procedimentos, que buscam apropriar os dados ao problema proposto. A partir das definições do cenário de aplicação desta Tese, apresentadas no Capítulo 6, este Capítulo apresenta a metodologia de aplicação, os resultados e análise de sensibilidade do modelo.

### 7.1 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO MODELO

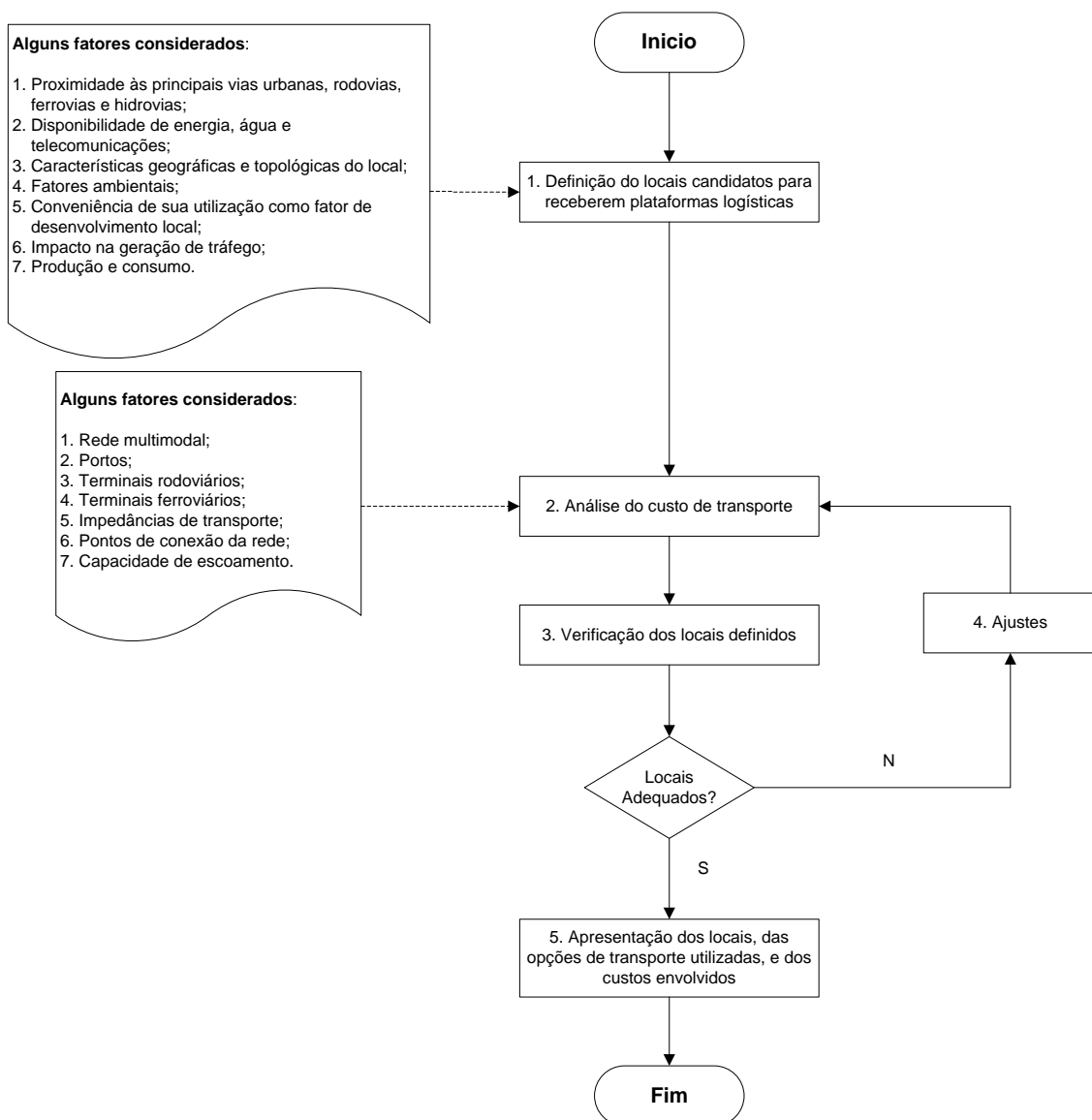
A metodologia geral de aplicação obedece cinco fases principais, conforme demonstrado na Figura 7.1. Esta metodologia foi aplicada e validada em um trabalho apresentado por COSTA *et al.* (2012), utilizando para tanto, o modelo matemático de GEOFFRION e GRAVES (1974).

A Fase 1 consiste na definição dos locais candidatos para receberem Centros de Integração Logística – CIL. Considera-se, nesta fase que para se definir a localização de CIL em uma rede multimodal, devem ser levados em consideração vários fatores tangíveis e intangíveis. Sendo assim, a primeira fase da metodologia proposta consiste em definir os possíveis locais para receberem CIL por meio de uma análise baseada em critérios de produção e infraestrutura disponível. O uso da base georeferenciada do PNLT nesta fase, visa auxiliar na identificação da rede multimodal e suas características, bem como na definição dos locais para receberem CIL.

A Fase 2 trata da análise dos custos de transporte. Assim, uma vez definido um conjunto de locais candidatos a receberem CIL, a segunda fase do estudo será avaliar a redução dos custos de transporte provenientes da utilização dos CIL. Pretende-se então, avaliar quais das localizações definidas inicialmente permitem utilizar de maneira adequada a infraestrutura de transporte disponível para atender a demanda, promovendo

reduções nos custos totais de transporte. Nesta fase, o modelo matemático proposto no Capítulo 5 pela formulação (5.3)-(5.11) poderá então ser utilizado e resolvido.

Os testes computacionais foram realizados em um laptop DELL equipado com processador Intel I3 de 2,6 GHz e 8 GB de Memória RAM. A solução para o modelo matemático de localização pode ser obtida por meio de *solvers* comerciais como o CPLEX 12.5 (IBM, 2013), ou, se os *solvers* comerciais não forem capazes de resolver o problema em um tempo computacional aceitável, dada a complexidade do modelo resultante, técnicas heurísticas podem ser desenvolvidas com base na literatura disponível.



Fonte: Costa *et al.* (2012).

**Figura 7.1** – Metodologia utilizada na aplicação.

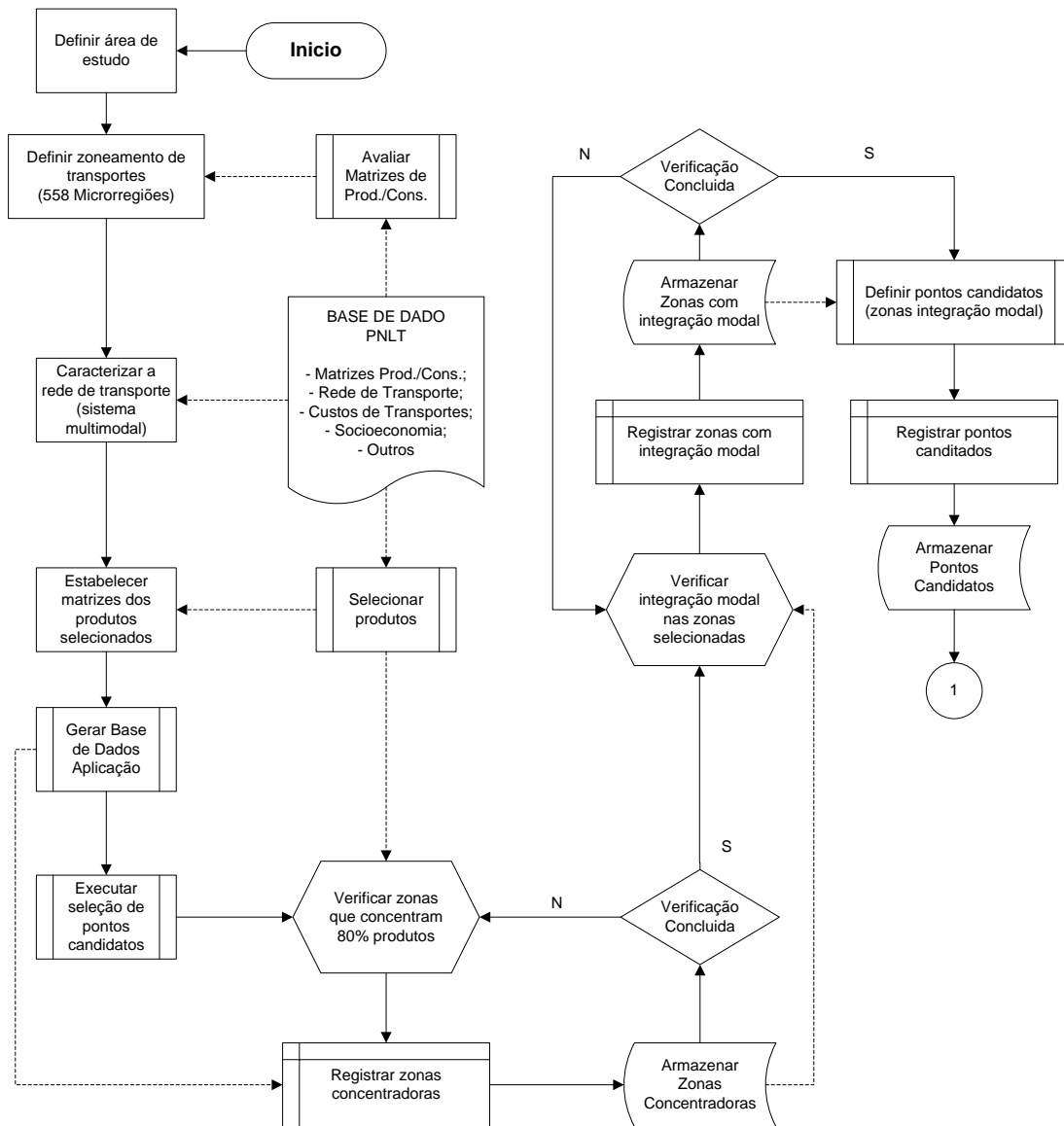
Na Fase 3 é feita a verificação dos locais definidos pela solução ótima do modelo matemático. Assim, quando resolvido o modelo matemático de localização, os CIL selecionados devem ser analisados conforme os fluxos projetados, para verificar se existe ou não, fluxos de transporte inadequados. Esta fase é importante para corrigir possíveis problemas na definição dos locais candidatos ou na estrutura da rede multimodal utilizada. A fase de ajuste, Fase 4, depende do resultado das análises realizadas na Fase 3, e tem como objetivo promover os ajustes adequados na definição dos locais candidatos, e caso necessário, no modelo matemático de minimização do custo de transporte.

Após os ajustes, caso necessário, tem-se a Fase 5, onde são apresentados os locais, as opções de transporte utilizadas e os custos envolvidos. Nesta fase são avaliados os resultados gerados na aplicação do modelo matemático, a partir da apresentação e entendimento da definição dos locais mais adequados, dos modos e rotas de transporte e também dos custos totais. Nesta fase todos os resultados obtidos são apresentados e analisados com o auxílio de um SIG.

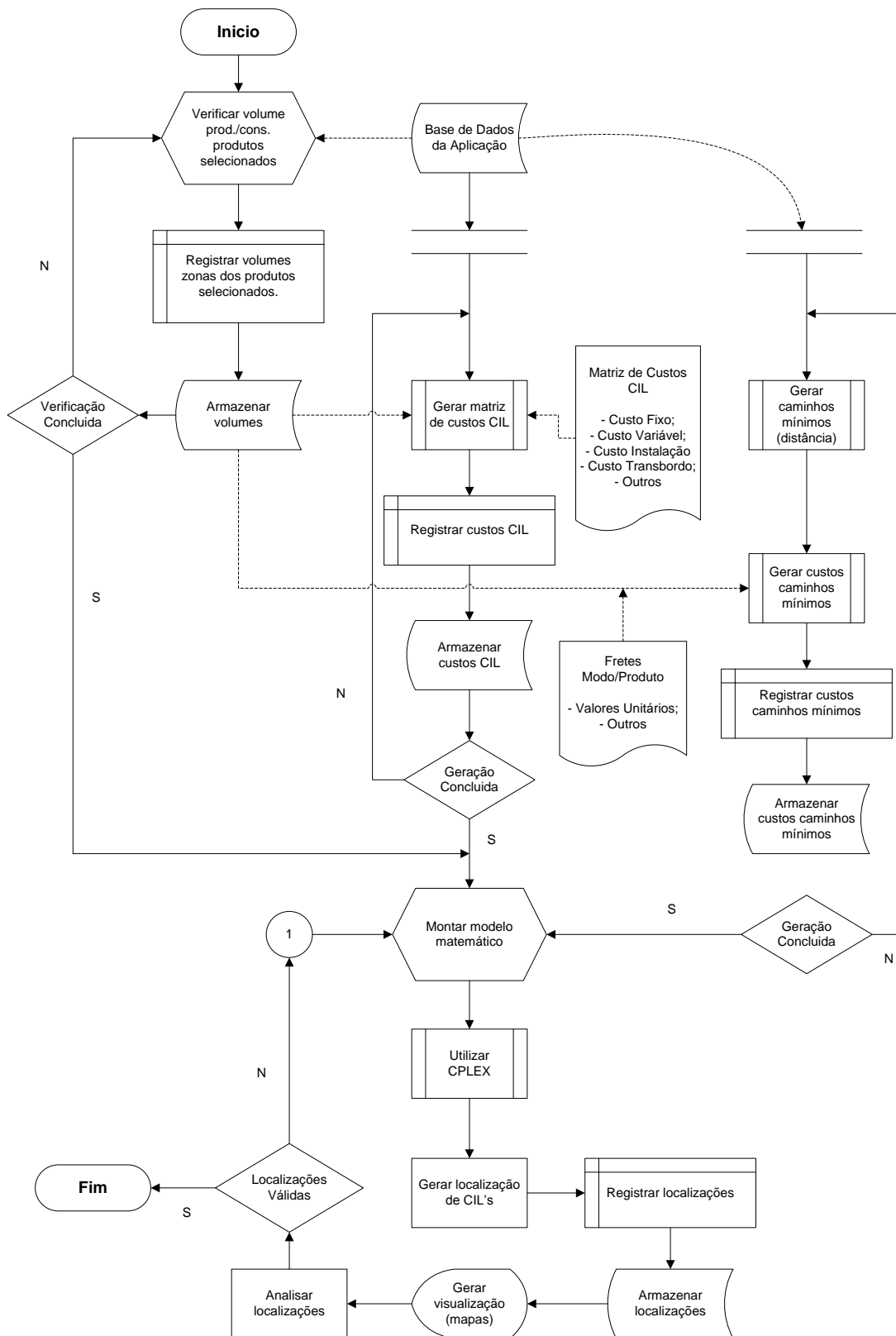
De forma a detalhar melhor a metodologia de aplicação, ela foi dividida em duas etapas principais, a primeira onde é realizada a leitura da base de dados do PNLT, e são realizados os procedimentos necessários para definição dos pontos candidatos a receberem CIL, que corresponde a Fase 1 da metodologia geral; a segunda onde os dados extraídos da base, bem como algumas informações complementares, são organizados para permitir a montagem do modelo matemático de análise de custos de transportes, correspondendo a Fase 2, sobre o qual é aplicado um método de solução que permite gerar os resultados, bem como realizar os procedimentos das demais Fases da metodologia, de análise, ajustes e apresentação de resultados.

O fluxograma da Figura 7.2 ilustra com maior detalhe, as relações e apropriações consideradas relevantes para definição dos pontos candidatos que servirão de base para análise utilizando o modelo matemático. Esse fluxograma indica, principalmente, os conceitos e definições que envolvem a análise da base georeferenciada do PNLT, visando obter os dados necessários à aplicação, considerando uma visão sistêmica para um determinado território. A Figura 7.3, trata dos procedimentos e da lógica funcional de aplicação do modelo matemático proposto nesta Tese, a partir da base de dados da aplicação.





**Figura 7.2** – Etapa 1: seleção dos pontos candidatos.



**Figura 7.3** – Etapa 2: montagem e aplicação do modelo matemático de minimização de custos de transporte.

## 7.2 SELEÇÃO DOS LOCAIS CANDIDATOS

O primeiro passo, para seleção dos locais candidatos a receberem Centros de Integração Logística – CIL, detalhado na Figura 7.2, e que corresponde à Fase 1 da metodologia, é a definição da área de estudo, e em seguida o zoneamento que será adotado.

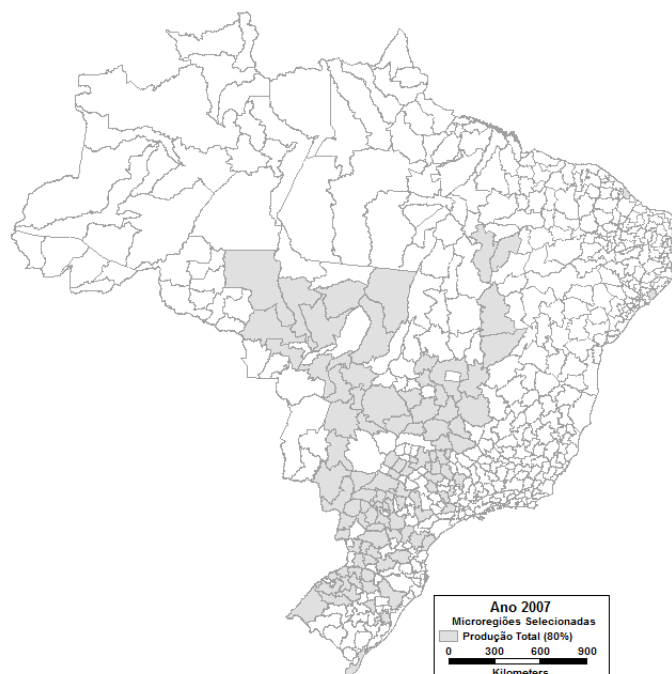
A partir da definição da área de estudo, que reflete toda extensão territorial nacional, é possível determinar o zoneamento de transportes que orientará as análises. O zoneamento, nesta aplicação, corresponderá às microrregiões homogêneas do IBGE, para as quais estão definidas as matrizes de produção e consumo de produtos relevantes. Assim, são consideradas as 558 microrregiões de planejamento e mais uma microrregião externa que representa a zona de produção das cargas de importação e as zonas de consumo das cargas de exportação.

Definidos os produtos que farão parte da análise, conforme justificado no Capítulo 6, soja, milho, farelo de soja e açúcar, e identificadas na base de dados do PNLT suas matrizes de produção e consumo, que tem como base as 559 microrregiões adotadas como zoneamento do estudo, foram avaliados os volumes totais de produção de cada um dos produtos escolhidos e de todos os produtos de forma conjunta. Esta análise deve ser feita em cada um dos horizontes de análise do PNLT (MT e MD, 2007) que for estudado, visto que em cada um, os volumes, bem como as regiões de produção diferem em função da expansão territorial e de crescimento da produção.

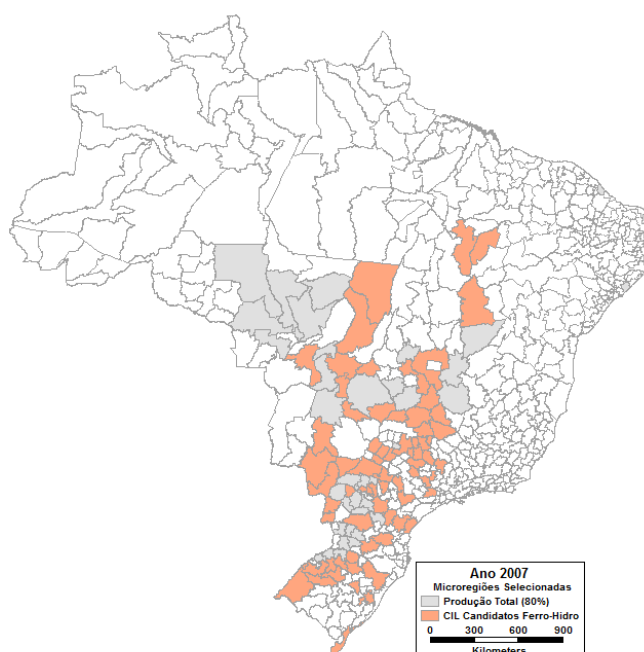
A definição dos pontos candidatos considera como relevantes os fatores “produção”, e “proximidade a rodovias, ferrovias e hidrovias”. Assim, a partir da identificação das microrregiões produtoras, e aplicando-se o princípio de Pareto, podem ser identificadas as microrregiões responsáveis por 80% da produção dos produtos selecionados. A Figura 7.4 apresenta as microrregiões que concentram 80% da produção de soja, milho, farelo de soja e açúcar no ano base de 2007.

Além disso, levando em conta que um CIL tem como principal objetivo promover a multimodalidade são identificadas nesta seleção, as microrregiões com integração física pré-existente entre o sistema rodoviário e ferroviário, bem como entre o sistema rodoviário e hidroviário.

Assim, os locais candidatos a receberem CIL serão aquelas microrregiões que, além de representarem as zonas de maior concentração de produção, oferecem a possibilidade de integrar as cargas provenientes do modo rodoviário com o modo ferroviário ou hidroviário (Figura 7.5).



**Figura 7.4** – Microrregiões que concentram 80% da produção de soja, milho, farelo de soja e açúcar (ano 2007).



**Figura 7.5** – Microrregiões candidatas a instalação de CIL – conexões rodo-ferroviárias e hidro-ferroviárias disponíveis (ano 2007).

### **7.3 PREPARAÇÃO DAS INFORMAÇÕES**

A análise dos custos de transporte, Fase 2 da metodologia geral, corresponde à montagem e aplicação do modelo matemático de minimização de custos de transporte. A Figura 7.3 apresenta o detalhamento desta atividade e também das atividades subsequentes, que caracterizam as demais fases da metodologia de aplicação.

Para aplicação do modelo matemático proposto, é necessária a coleta e organização dos dados de entrada. Desta forma, nesta seção, serão descritas as rotinas de obtenção dos dados da base georeferenciada do PNLT, bem como da definição das matrizes de custos e do arquivo de entrada de dados.

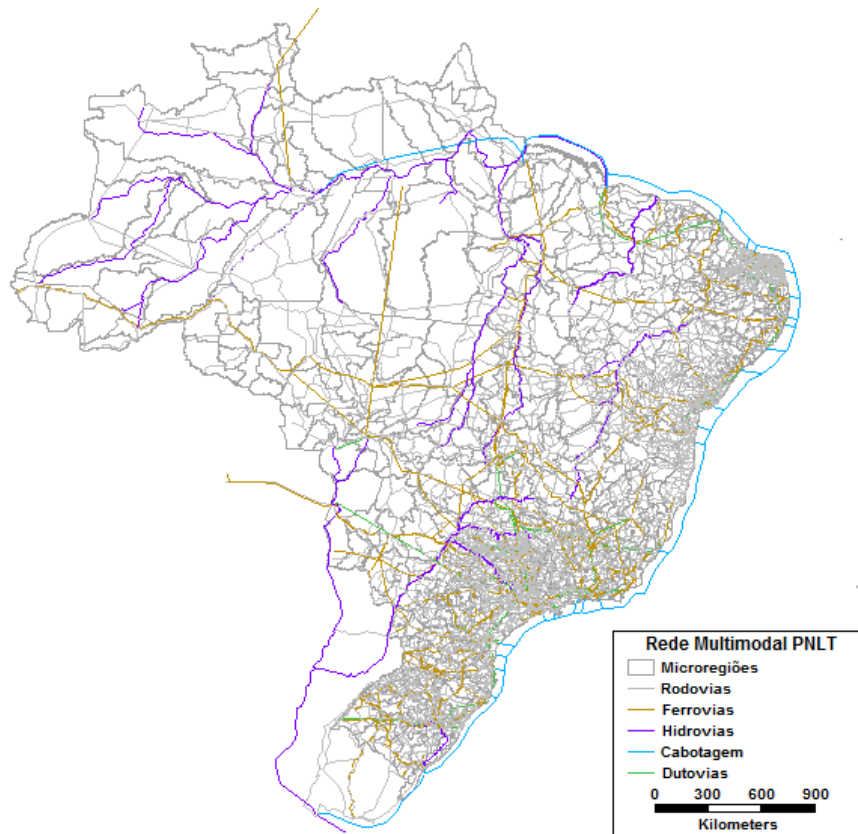
#### **7.3.1 Rotina de Obtenção dos Dados da Base Georeferenciada**

Para que os dados da base georeferenciada do PNLT pudessem ser obtidos e processados, e posteriormente armazenados em uma base de dados externa para alimentar o modelo matemático, foi necessário o desenvolvimento de um código fonte em GISDK (CALIPER, 2011), linguagem de programação do TransCAD.

O código fonte foi desenvolvido basicamente para que os dados de distância de transporte da rede multimodal pudessem ser obtidos e transformados em custos. Considerando então, a ligação entre as 559 microrregiões definidas no zoneamento, entre si, e a rede multimodal do PNLT (Figura 7.6), foram geradas 8 matrizes de 559 x 559.

Cabe destacar que a rede multimodal do PNLT é composta por 16.268 segmentos, sendo 12.362 deles pertencentes à rede de transporte rodoviário, 1.024 segmentos à rede ferroviária e 174 à rede hidroviária. Os demais segmentos compõem a rede de transporte por cabotagem, a rede dutoviária e também os segmentos que representam as possibilidades de transferência entre modos.

A primeira matriz gerada pelo algoritmo de caminho mínimo armazena as distâncias mínimas de ligação entre as zonas, pela rede rodoviária somente; enquanto a segunda matriz armazena as distâncias mínimas de ligação entre as zonas, pela rede multimodal, incluindo todos os tipos de segmentos: rodoviário, ferroviário e hidroviário, cabotagem, acesso (marítimo) e dutoviário. Esta segunda matriz, de distâncias mínimas pela rede multimodal, é desmembrada em outras seis outras matrizes, cada uma armazenando, para cada par O/D, apenas as distâncias correspondentes a cada tipo de segmento conforme caminho mínimo obtido.



Fonte: PNLT (MT e MD, 2007).

**Figura 7.6** – Rede multimodal – base georeferenciada do PNLT.

Importante destacar que o código fonte foi elaborado para que se pudesse considerar, num primeiro momento, a utilização de qualquer um dos modos da rede multimodal. No entanto, para a aplicação proposta, o código fonte foi executado apenas para os modos rodoviário, ferroviário e hidroviário. Este processo de obtenção das informações durou aproximadamente três horas. Destaca-se que o GISDK (CALIPER, 2011) não é uma linguagem tão otimizada quanto a linguagem C utilizada para geração do modelo matemático conforme descrito na Seção 7.3.4.

Por motivos de simplificação os transportes dutoviário e de cabotagem não foram considerados na análise, e o transporte marítimo, que serve apenas para atendimento à zona externa, foi considerado, mas não quantificado, ficando o custo das rotas que envolviam movimentação externa, calculados apenas até os portos marítimos.

### 7.3.2 Determinação dos Custos

Como apresentado no Capítulo 6, os fretes de cada modo e os custos de movimentação de carga no CIL e no terminal de transbordo foram definidos considerando as principais fontes de dados disponíveis para cada item:

- Frete rodoviário: dados do SIFRECA, média anual por tipo de produto;
- Frete ferroviário: tabelas de referência de tarifas da ANTT, por distância de transporte e tipo de produto;
- Frete hidroviário: estimativa a partir da média das diferentes fontes;
- Custos CIL e terminal de transbordo: tabela de tarifas da CONAB (2013).

Assim, considerando os custos de transporte de cada modo, o procedimento elaborado permite que, a partir das matrizes de distância geradas, sejam elaboradas as matrizes de custo para o transporte rodoviário e para transporte multimodal, baseados nos caminhos mínimos entre as 559 microrregiões consideradas no estudo, para cada um dos produtos selecionados.

Desta forma, o processamento dos dados da base georeferenciada do PNLT gera dois conjuntos de informações; o “outputdireto”, que armazena as matrizes de custo pelo transporte rodoviário entre as 559 microrregiões para os produtos selecionados, e o “outputcil”, que consolida e armazena as matrizes de custo do transporte multimodal para os produtos selecionados.

### **7.3.3 Dados para Aplicação**

Além das matrizes de custo, a base de dados do PNLT permite que seja gerado um terceiro conjunto de informações para a construção do modelo. O conjunto de informações denominado “datacil” apresenta as definições referentes aos produtos selecionados, ou seja, o número de produtos e sua identificação. Também são explicitadas as microrregiões candidatas a receber CIL, e para cada uma delas, os custos de operação (fixo e variável), a definição de volume mínimo de ativação, capacidade máxima e o valor de investimento para implantação de CIL.

Além disso, ele armazena os volumes de produção e consumo, por microrregião, de cada um dos produtos selecionados e o valor total disponível para investimento em CIL. A partir da elaboração deste conjunto de dados, que concentra as principais informações do modelo matemático, e das matrizes de custos rodoviário e multimodal por produto para todos os pares de O/D, é possível obter e resolver a formulação matemática descrita no Capítulo 5.

### **7.3.4 Obtenção do Modelo Matemático**

Devido a complexidade do modelo matemático proposto pela formulação (5.3)-(5.11), e da quantidade de parâmetros e variáveis da aplicação proposta, a obtenção do modelo matemático resulta em um extenso conjunto de expressões.

Desta forma, foi necessária a elaboração de um aplicativo computacional em linguagem C para gerar o modelo matemático.

## **7.4 OBTENÇÃO DE RESULTADOS**

Apesar do tamanho do modelo matemático gerado, que resultou em um arquivo de aproximadamente 177 MB, e da quantidade de variáveis envolvidas, por se tratar de um modelo de programação linear inteira mista – PLIM, a solução ótima pode ser obtida com o *solver* CPLEX 12.5 (IBM, 2013), com tempo máximo de solução de 72 segundos.

De acordo com a metodologia geral de aplicação, após a solução do modelo matemático, onde são analisados os custos de transporte e obtidos os primeiros resultados, por meio da aplicação de um *solver*, é preciso avaliar se os locais encontrados são adequados. Essa avaliação é realizada a partir da elaboração de mapas e identificação dos fluxos resultantes da solução ótima encontrada. Após os ajustes que se fizeram necessários, sejam eles na rede multimodal georeferenciada, ou nos valores atribuídos aos parâmetros do modelo, o modelo volta a ser resolvido, até que a definição dos locais esteja adequada.

### **7.4.1 Considerações sobre Avaliação de Instalação de CIL no PNLT**

O funcionamento de um CIL está associado ao instante no tempo em que ele entra em operação. Esta informação é importante, pois, como citado anteriormente, a entrada de um elemento facilitador na rede multimodal, indutor de redução de custo de transporte, altera a dinâmica de movimentação.

Assim, ao associarmos a localização de CIL ao planejamento de transportes, e, portanto à rede e aos dados do PNLT, onde os cenários futuros (2015, 2023) de movimentação de carga foram construídos a partir da lógica de qualificação e ampliação da capacidade da infraestrutura de transportes já instalada em 2007, o investimento em instalações de integração logística – CIL se torna relevante apenas para o cenário de



2023, com as matrizes de produção e consumo da época e a rede multimodal já ampliada em relação à situação base.

É importante destacar que a implantação de instalações do tipo CIL no ano base (2007), ou no ano intermediário de 2015, alteraria as proposições atuais do Plano, pois criaria uma nova lógica de fluxos e, portanto, os investimentos planejados para os horizontes futuros, em termos de viabilidade, sofreriam mudanças, e, portanto, a rede futura seria diferente daquela proposta atualmente no PNLT. Desta maneira, na análise de planejamento de transportes, é necessário se prever em qual momento os CIL devem entrar em operação para promover a maior redução de custos possível.

#### **7.4.2 Construção dos Cenários de Aplicação**

Apesar das restrições de análise sobre o planejamento de transportes, para fins de avaliação do modelo, o ano base do PNLT (2007) foi considerado como um cenário de aplicação. No entanto, este cenário serve apenas para promover as análises iniciais para validação do modelo na determinação das localizações e na avaliação dos ajustes necessários em termos de rede e das demais informações que alimentam o modelo.

Assim, são apresentados inicialmente, os resultados associados ao cenário de 2007, onde a avaliação se dá em termos de avaliação dos fluxos e localização dos CIL. Após a validação do modelo no ano base, foi possível, no horizonte de 2023, avaliar a adequação do modelo ao planejamento de transportes, integrado ao PNLT. Além disso, pela análise de sensibilidade do modelo, foi possível avaliar sua sensibilidade em relação ao nível de investimentos nos CIL e também a uma política de descontos pela utilização dos CIL.

#### **7.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS**

A primeira rodada de testes considerou a rede multimodal consolidada e a matriz de produção e consumo de produtos para o ano de 2007. Para que se pudesse avaliar a consistência das informações obtidas a partir da base de dados do PNLT, foram executadas sequencialmente simulações com diferentes suposições quanto à determinação dos locais candidatos e considerando limites ou não para o volume mínimo de abertura do CIL.

Na análise de cenários do ano base, foram ainda diferenciados os resultados encontrados a partir de locais candidatos baseados apenas nas conexões rodo-ferroviárias, e também locais candidatos a partir das conexões rodo-ferroviárias ou rodo-hidroviárias. Tomou-se como base de comparação, para cada cenário simulado, a relação entre o custo obtido utilizando apenas o modo rodoviário e o custo obtido com a localização de CIL utilizando a intermodalidade.

A segunda rodada avaliou cenários de implantação de CIL na rede futura (2023), com a mesma suposição de comparação dos custos da rede rodoviária com os da rede intermodal. Contudo, nos cenários de 2023 foram considerados sempre os limitantes de volume mínimo de movimentação do CIL, visto que em uma situação real, a implantação de uma estrutura do tipo CIL precisa ser justificada por um volume mínimo de movimentação, e este deve ser ao menos compatível com a de uma carga ferroviária ou hidroviária. Além disso, neste conjunto de cenários foram avaliados os CIL resultantes na análise dos produtos individualmente e de forma combinada.

Em ambos os conjuntos de cenários, 2007 e 2023, optou-se inicialmente por não utilizar a restrição de investimento (5.14), para que apenas os custos de transporte e de utilização do CIL fossem considerados no planejamento estratégico de transporte. Desta forma, 10 cenários foram analisados, conforme descrito a seguir.

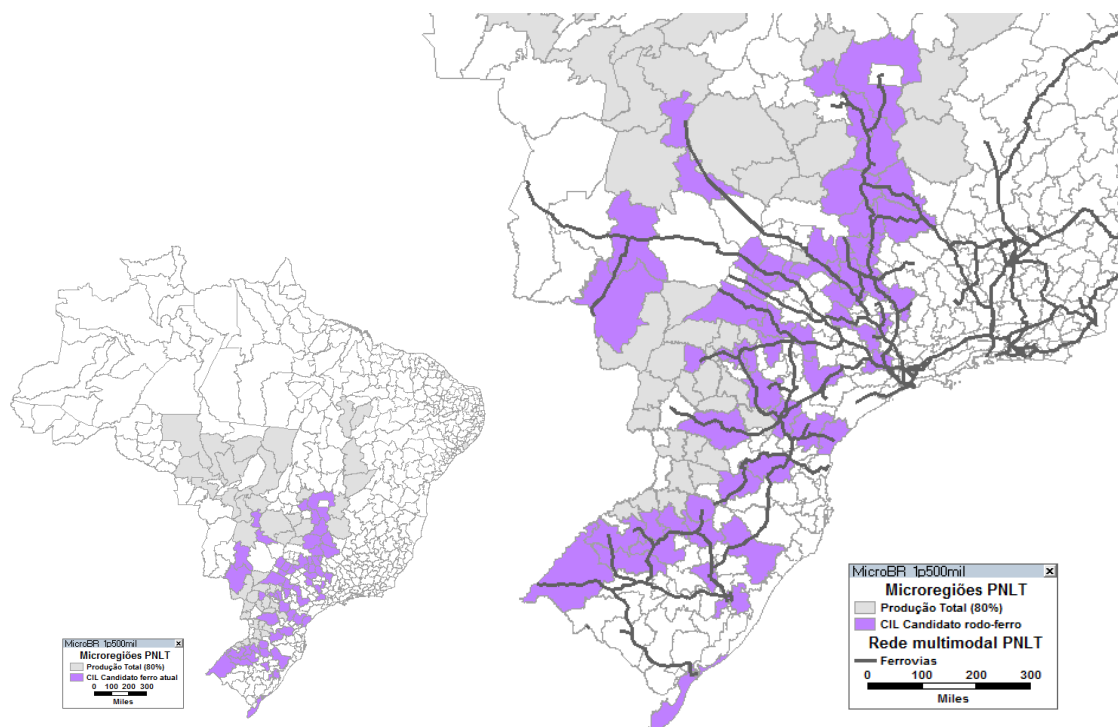
### **7.5.1 Resultados baseados na rede atual – ano base 2007**

Para o ano base (2007) foram avaliadas as localizações resultantes da análise de custos de transporte em um cenário onde as microrregiões candidatas foram determinadas a partir das zonas que concentram 80% da produção com disponibilidade para integração rodo-ferroviária sem limitação no volume mínimo de movimentação de carga no CIL e com limitação mínima no volume de movimentação do CIL.

A partir da análise destes dois cenários, um novo cenário foi construído considerando, na determinação das microrregiões candidatas, a disponibilidade para integração rodo-ferroviária ou rodo-hidroviária com limitação mínima no volume de movimentação do CIL. A identificação das microrregiões produtoras dos quatro produtos escolhidos para aplicação resultou, para o cenário base (2007), na seleção de 545 das 559 microrregiões iniciais, sendo que destas 107 concentram 80% da produção total (Figura 7.4). Os resultados e a análise das localizações resultantes em cada cenário de simulação são apresentados a seguir.

### 7.5.1.1 Candidatos a CIL com integração rodo-ferroviária

Para o cenário de 2007, a partir das zonas que concentram 80% da produção, foram geradas as microrregiões candidatas a instalação de CIL, verificando-se a disponibilidade de integração rodo-ferroviária na rede multimodal. Nestas condições foram identificadas 57 microrregiões candidatas (Figura 7.7).

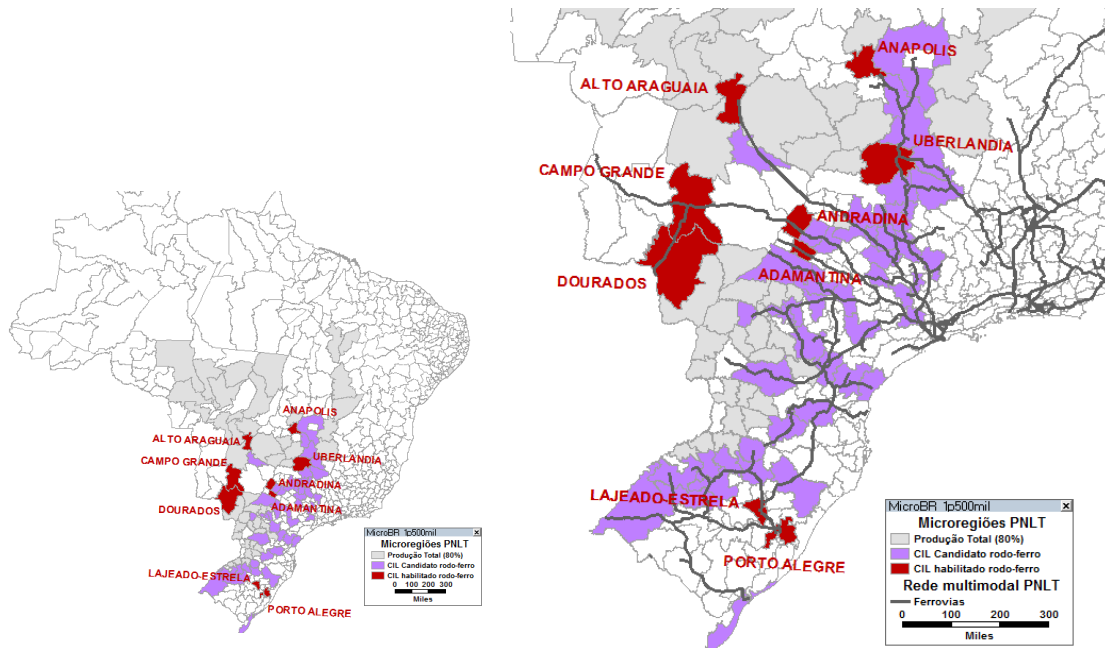


**Figura 7.7** – Microrregiões candidatas a instalação de CIL – conexões rodo-ferroviárias (2007).

#### a) Volume mínimo de movimentação do CIL não determinado

Definidas as regiões candidatas, foi gerado o conjunto de informações “datacil”, que, juntamente com as matrizes de custo de transporte “outputdireto” e “outputcil”, possibilitaram a definição do modelo matemático, e a aplicação do *solver* CPLEX 12.5 para obtenção dos resultados.

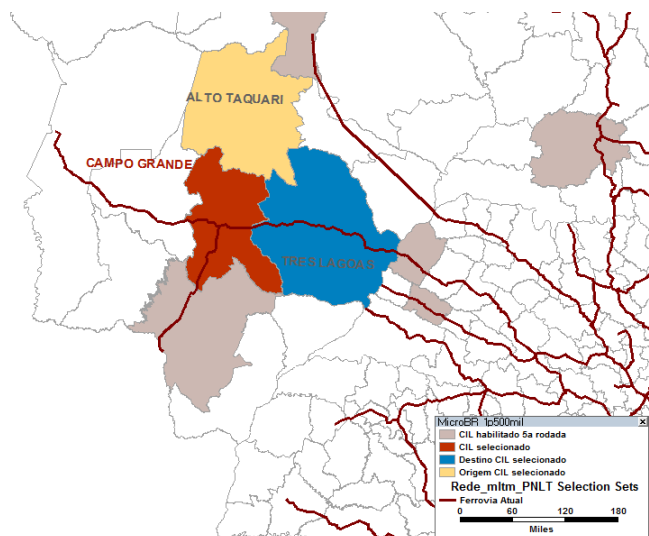
Nesta primeira simulação não foi estabelecido volume mínimo de ativação para operação para o CIL, limitando apenas a capacidade máxima a pouco mais de 150 milhões de toneladas, conforme estabelecido no Capítulo 6. Nesta simulação foram habilitados nove CIL, conforme ilustrado na Figura 7.8.



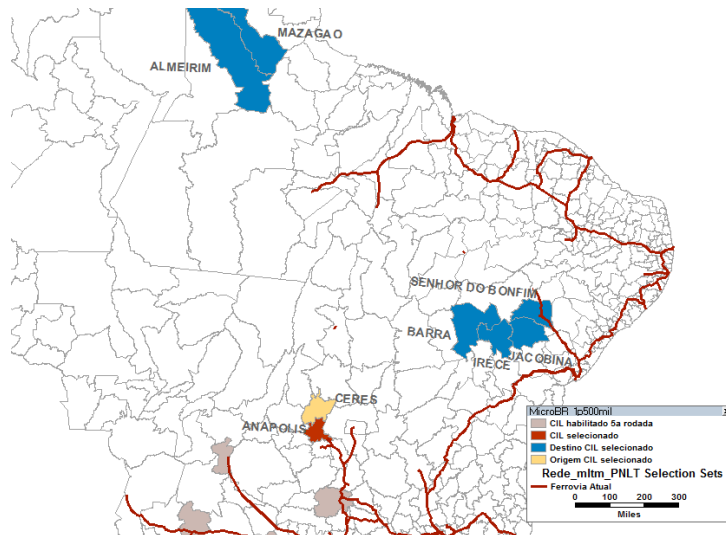
**Figura 7.8** – CIL habilitados a partir das conexões rodo-ferroviárias, sem limite mínimo no volume de ativação do CIL.

Dos nove CIL habilitados, seis foram viabilizados pela movimentação de carga da própria microrregião, são eles: Uberlândia/MG, Andradina/SP, Adamantina/SP, Lajeado-Estrela/RS, Porto Alegre/RS e Dourados/MS.

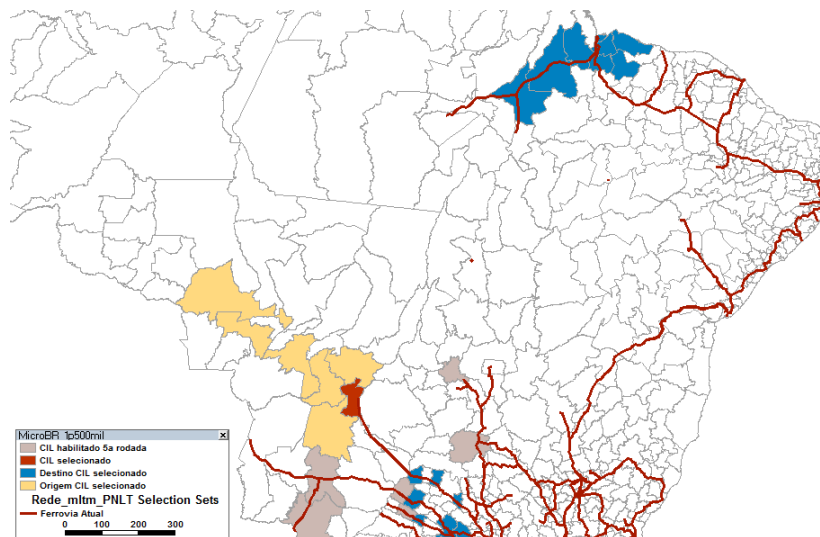
Os demais, Campo Grande/MS, Anápolis/GO e Alto Araguaia/MT, têm suas movimentações principais de acordo com as Figuras 7.9, 7.10 e 7.11, onde se pode verificar que os fluxos de movimentação do CIL apresentam um bom nível de coerência na transferência dos caminhos rodoviários para aqueles integrados à ferrovia.



**Figura 7.9** – CIL habilitado em Campo Grande, MS.



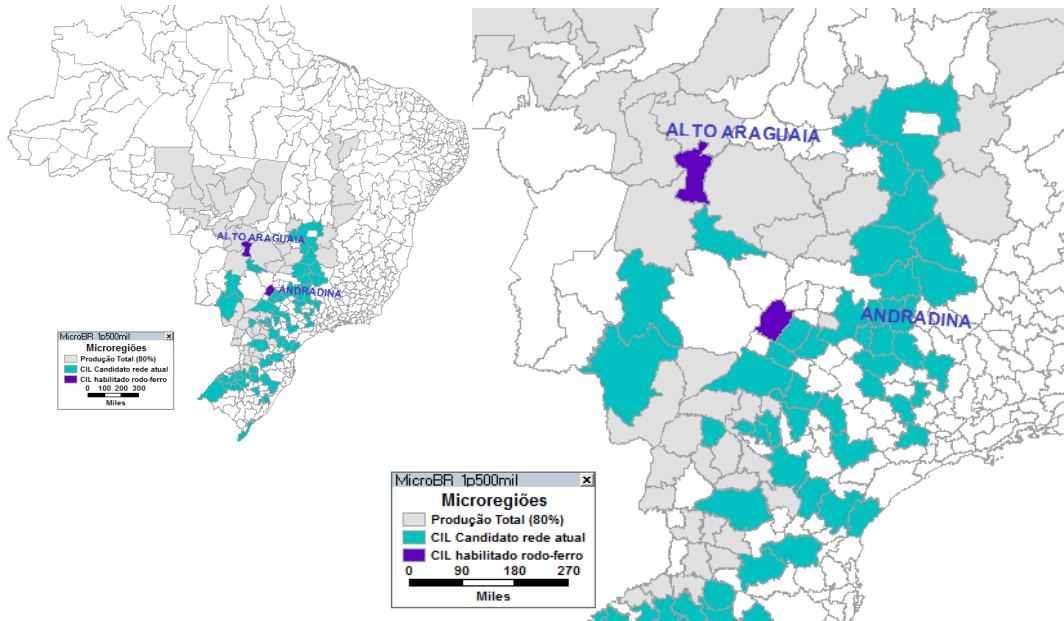
**Figura 7.10** – CIL habilitado em Anápolis, GO.



**Figura 7.11** – CIL habilitado em Alto Araguaia, MT.

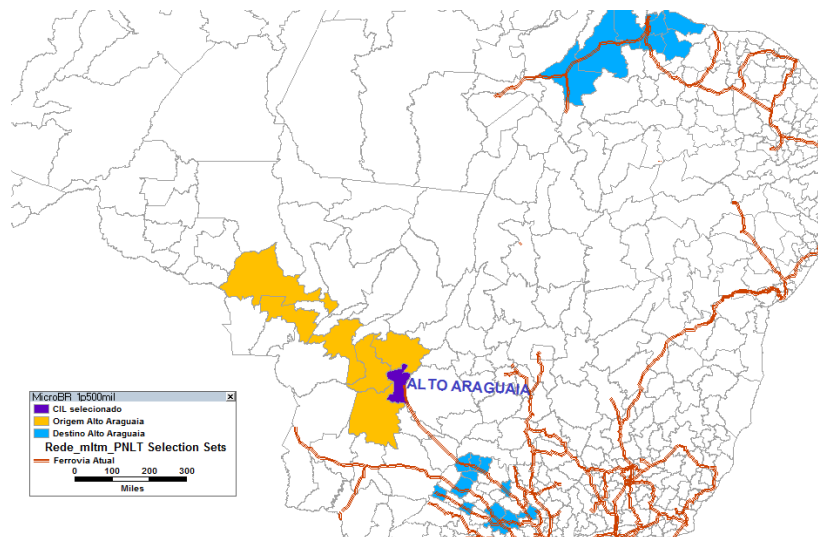
### **b) Volume mínimo de ativação do CIL determinado**

Para que se pudesse avaliar, a permanência de indicação dos CIL a partir da limitação do volume mínimo de ativação da operação, nesta segunda simulação se considerou um volume mínimo de um milhão de toneladas para implantação de CIL e uma capacidade máxima de pouco mais de 150 milhões de toneladas, conforme estabelecido anteriormente. Nesta simulação foram habilitados apenas dois dos CIL, habilitados anteriormente, conforme ilustra a Figura 7.12.

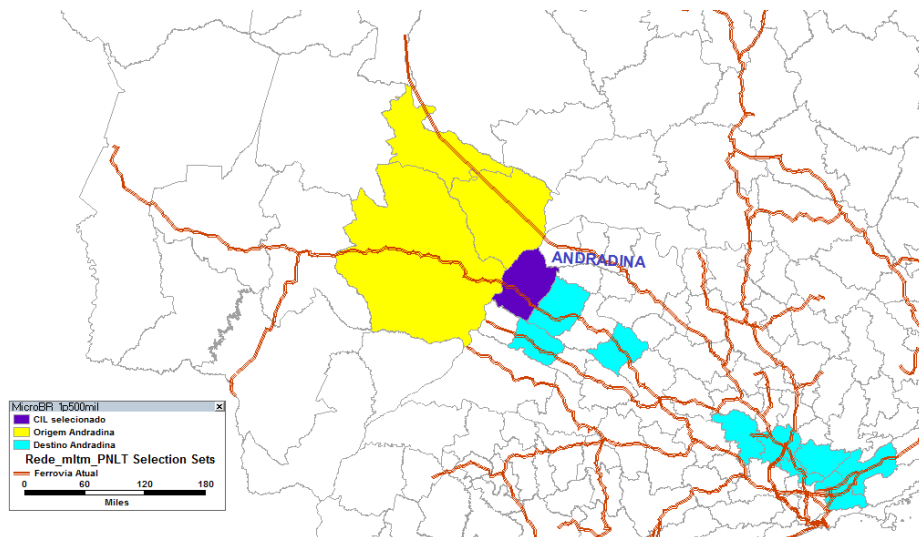


**Figura 7.12** – CIL habilitados a partir das conexões rodo-ferroviárias, com limite no volume mínimo de ativação do CIL.

Os fluxos do CIL habilitado em Alto Araguaia/MT obedecem ao mesmo padrão de comportamento anterior, variando apenas os volumes transportados (Figura 7.13). Por outro lado, o CIL habilitado em Andradina/SP (Figura 7.14), viabilizado no cenário anterior pela movimentação da carga da sua própria região, atrai, neste segundo cenário, outros fluxos rodoviários para rede ferroviária.



**Figura 7.13** – CIL habilitado em Alto Araguaia, MT.



**Figura 7.14** – CIL habilitado em Andradina, SP.

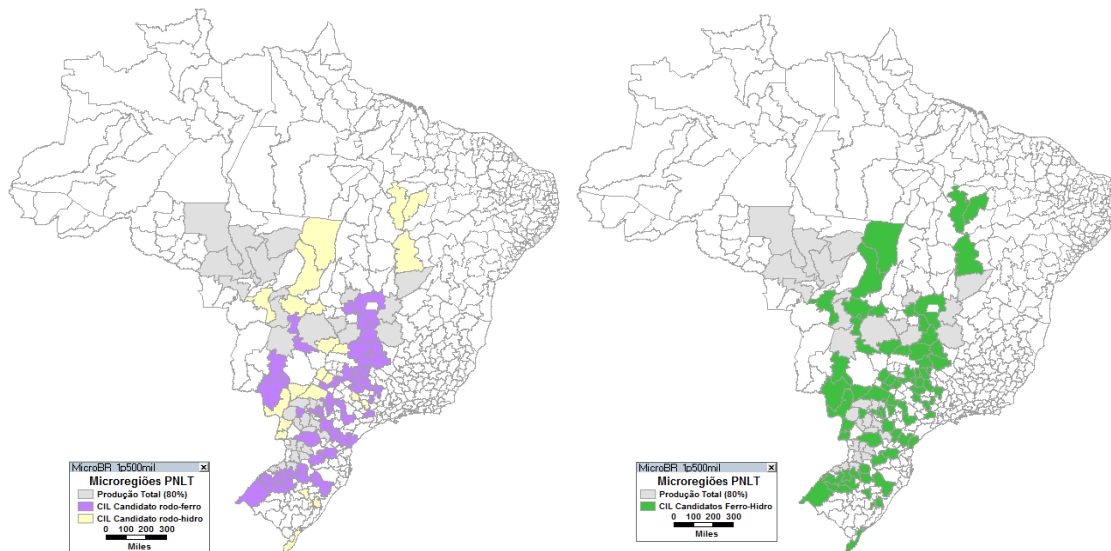
A partir da avaliação destes dois cenários, onde foi considerada, para o ano base (2007) apenas a utilização da integração rodo-ferroviária na avaliação dos custos de transporte, foi possível verificar a consistência da rede multimodal, em relação às integrações ferroviárias e validar o modelo matemático na determinação de CIL que propiciam menores custos totais de transportes.

Entretanto, a análise dos CIL habilitados e de seus fluxos, no contexto da rede de transportes do País, indica a necessidade de se considerar na avaliação, a integração também com a rede de transporte hidroviário.

#### *7.5.1.2 Candidatos a CIL com integração rodo-ferro-hidroviária*

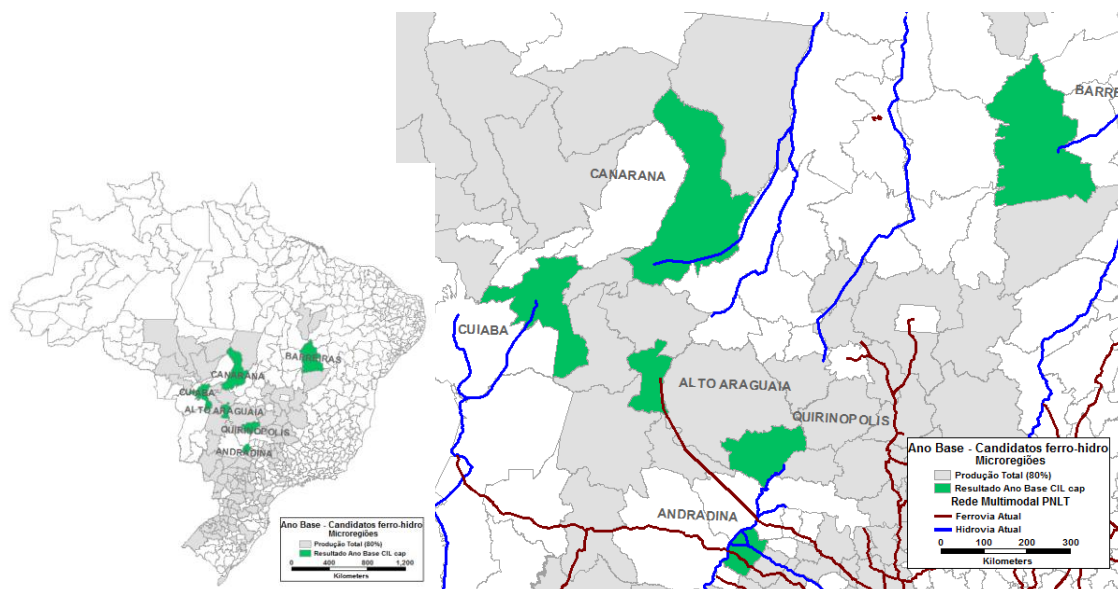
Assim, ainda considerando a ano base do PNLT (2007), e as zonas que concentram 80% da produção dos granéis selecionados, foram geradas as microrregiões candidatas a instalação de CIL, a partir da verificação de disponibilidade de integração rodo-ferroviária ou rodo-hidroviária na rede multimodal. Nestas condições foram identificadas 71 microrregiões candidatas (Figura 7.15).





**Figura 7.15** – CIL candidatos a partir das conexões rodo-ferroviárias e rodo-hidroviárias (2007).

Tomando por base a análise dos cenários anteriores, onde a limitação do volume de ativação de movimentação dos CIL resultou em um menor número de instalações habilitadas, e fluxos mais significativos, para este cenário foi considerada apenas uma simulação, adotando um volume mínimo de ativação do CIL igual a um milhão de toneladas. Nesta simulação foram habilitados seis CIL, conforme ilustrado na Figura 7.16.



**Figura 7.16** – CIL habilitados a partir das conexões rodo-ferroviária ou rodo-hidroviária, com limite no volume mínimo de ativação do CIL.



Na análise dos CIL habilitados neste terceiro cenário, independente dos fluxos, é possível verificar que eles se distribuem sobre o território, nas microrregiões com disponibilidade de conexão ferro ou hidrovíaria, situados próximos às zonas de produção. Este comportamento mostra o ajuste dos resultados do modelo matemático ao conceito que gerou sua elaboração, ou seja, a redução de custo que estimula o uso da intermodalidade se dá, pela concentração de cargas para viabilização de utilização de modos de transporte de maior capacidade.

Como mencionado anteriormente, as simulações para o ano base não podem ser avaliadas dentro do escopo do PNLT, pois o plano determina os investimentos em infraestrutura necessários para mudança da matriz de cargas do País, em diferentes horizontes. Assim, se considerarmos a implantação de CIL no ano de 2007, o portfólio atual deveria ser todo revisto, considerando a existências das estruturas de integração logística como projetos de infraestrutura a serem avaliados quanto à viabilidade.

Além disso, as estruturas avaliadas no cenário de 2007 por considerarem a rede atual e os volumes de produção e consumo de 2007, desconsideram as alterações de infraestrutura previstas e também o crescimento da produção. Desta forma, a análise dos cenários simulados para o ano base (2007) serve para validação do modelo matemático, bem como dos procedimentos de extração de dados da base georeferenciada do PNLT e a consistência da rede multimodal e seus atributos no estudo proposto.

### **7.5.2 Resultados baseados na rede futura – ano horizonte 2023**

O estudo de localização de estruturas de integração logística, levando em conta a rede proposta pelo PNLT para 2023, considerando a produção e consumo previstos para este mesmo horizonte, possibilita que sejam avaliadas as reduções de custo de transporte a partir da definição de localização de CIL.

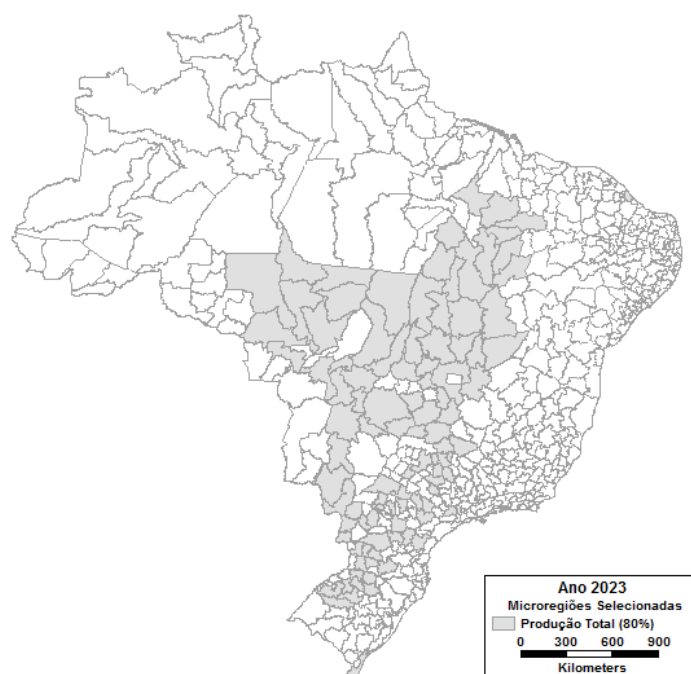
E, a partir da definição destas localizações, se estabelecerem, como projetos de infraestrutura complementares à rede viária e de terminais prevista, a implantação dos CIL que estimularão o uso da intermodalidade.

Neste cenário, para fins de avaliação dos resultados para no escopo do PNLT, foram realizadas análises de localização de CIL para os quatro produtos selecionados de forma individual, para os dois principais, para os três principais e, por fim, para os quatro produtos. Em todos os cenários, se estabeleceu um limite mínimo de movimentação no CIL para que sua abertura seja viabilizada.

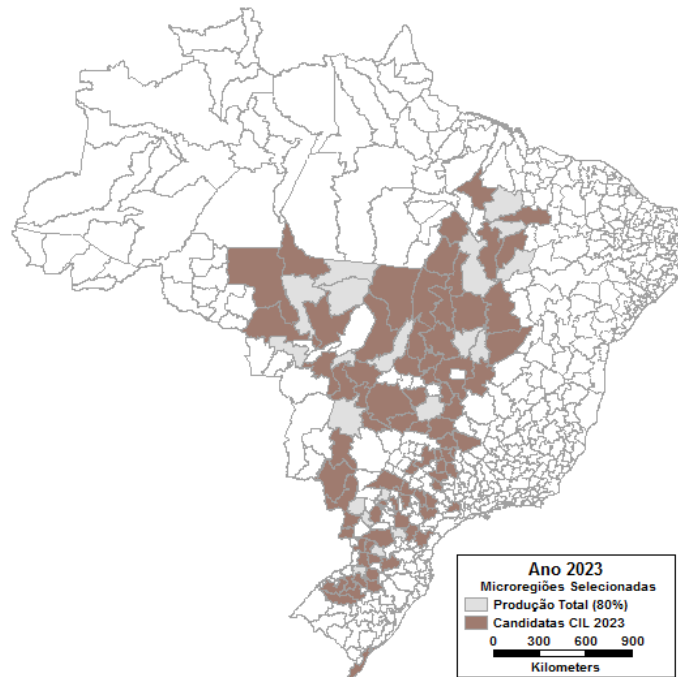
De acordo com a metodologia de aplicação do modelo matemático, a definição das microrregiões candidatas à instalação de CIL parte da análise da concentração de 80% da produção dos produtos selecionados. Desta forma, ao se tratar os produtos de forma individual, seria necessário determinar os locais candidatos específicos para cada produto, considerando a seleção das regiões que concentram 80% da produção de cada produto.

Para simplificação do problema, de forma a evitar que a necessidade de se determinar microrregiões candidatas em cada cenário individual e combinado, as regiões candidatas foram geradas a partir da análise da produção total dos quatro produtos estudados. Assim, foram selecionadas, para o ano de 2023, as microrregiões que concentram 80% da produção de soja, milho, farelo de soja e açúcar, e definidas como candidatas à instalação de CIL, aquelas com disponibilidade para integração rodo-ferroviária e rodo-hidroviária.

As microrregiões produtoras dos quatro produtos escolhidos para aplicação resultou na seleção de 544 das 559 microrregiões iniciais, sendo que destas 102 concentram 80% da produção total, conforme Figura 7.17. A identificação da existência de conexões rodo-ferroviárias e rodo-hidroviárias nestas microrregiões, permitiu que se determinassem 80 microrregiões candidatas a receber a instalação de CIL (Figura 7.18).



**Figura 7.17** – Microrregiões que concentram 80% da produção dos produtos selecionados (2023).



**Figura 7.18** – Microrregiões candidatas a instalação de CIL – conexões rodo-ferroviárias e hidro-ferroviárias disponíveis (2023).

Desta forma, partindo de uma definição única dos locais candidatos à instalação de CIL, para o ano de 2023, foram executados os demais procedimentos da metodologia de aplicação do modelo matemático para cada cenário.

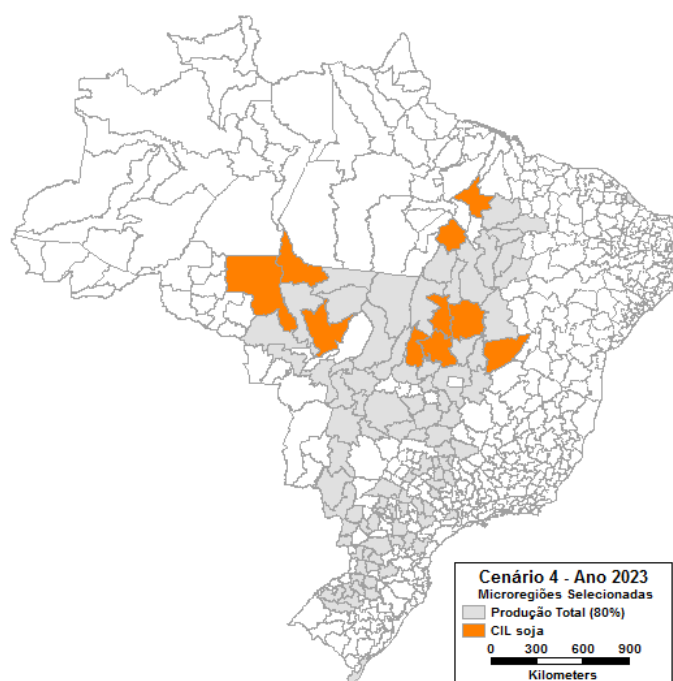
#### 7.5.2.1 CIL para soja

A aplicação do modelo de localização de CIL, considerando apenas a produção e consumo de soja em 2023, resultou na determinação de 10 locais habilitados à instalação de CIL de soja, conforme apresentado no Quadro 7.1 e na Figura 7.19.

Considerando que a redução do custo de transporte ocorre na transferência dos fluxos do transporte rodoviário para o transporte multimodal, se obtém, neste cenário, uma redução de custos na ordem de 11,5%.

**Quadro 7.1** – Microrregiões habilitadas para implantação de CIL de soja.

Região	UF	Microrregião
Norte	TO	Araguaina
		Gurupi
		Dianópolis
Nordeste	MA	Imperatriz
	BA	Santa Maria da Vitória
Centro Oeste	MT	Aripuana
		Alta Floresta
		Alto Teles Pires
	GO	São Miguel do Araguaia
		Porangatu



**Figura 7.19** – CIL habilitados para soja (2023).

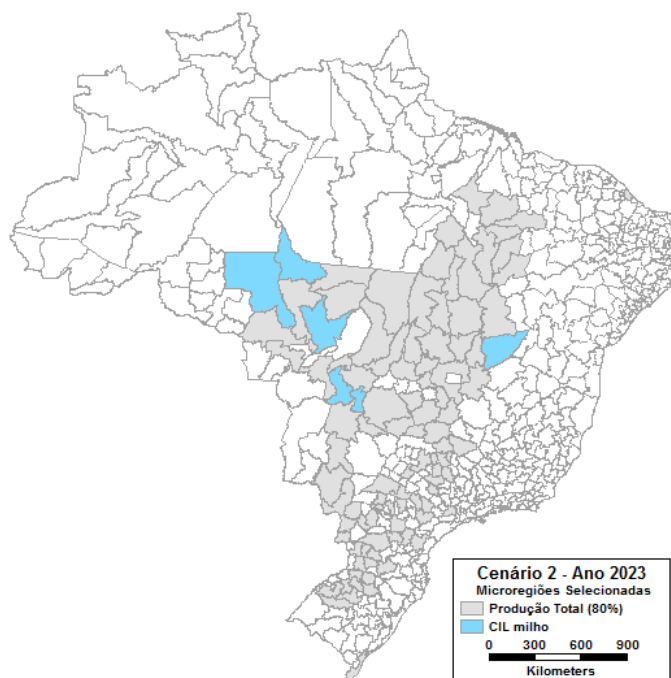
#### 7.5.2.2 CIL para milho

Ao considerar apenas a produção e consumo de milho em 2023, a aplicação do modelo de localização de CIL resultou na habilitação de cinco locais para instalação de CIL, conforme apresentado na Figura 7.20 e no Quadro 7.2.

No cenário de implantação de CIL exclusivamente para milho, observa-se uma redução nos custos totais na ordem de 7%.

**Quadro 7.2** – Microrregiões habilitadas para implantação de CIL de milho.

Região	UF	Microrregião
Nordeste	BA	Santa Maria da Vitória
Centro Oeste	MT	Aripuana
		Alta Floresta
		Alto Teles Pires
		Rondonópolis



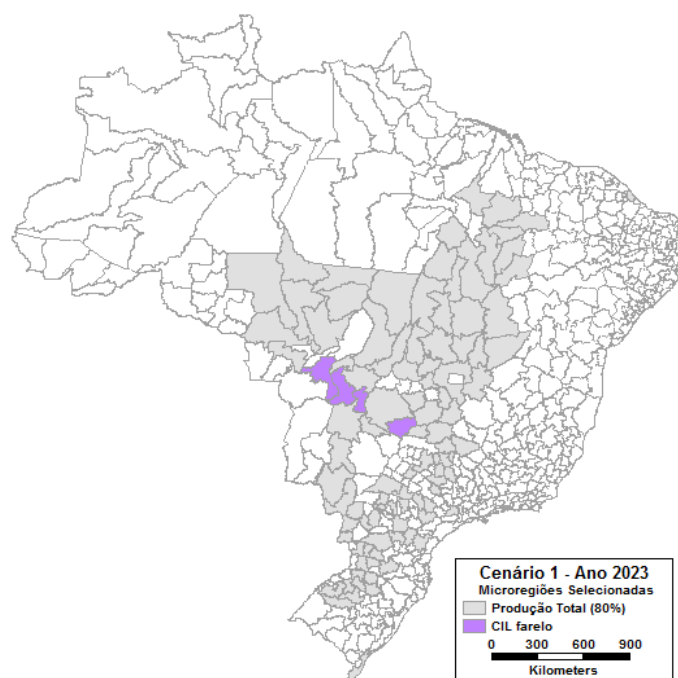
**Figura 7.20** – CIL habilitados para milho (2023).

### 7.5.2.3 CIL para farelo de soja

Para o cenário que considera apenas a produção e consumo de farelo de soja em 2023, foram habilitados quatro CIL, descritos no Quadro 7.3 e apresentados na Figura 7.21. A redução do custo de transporte observada neste cenário, foi de apenas 1%, indicando que, para este produto isoladamente os benefícios da utilização de CIL para reorganização dos fluxos de transporte são marginais.

**Quadro 7.3** – Microrregiões habilitadas para implantação de CIL de farelo de soja.

Região	UF	Microrregião
Centro Oeste	MT	Cuiabá
		Rondonópolis
		Alto Araguaia
	GO	Quirinópolis



**Figura 7.21** – CIL habilitados para farelo de soja (2023).

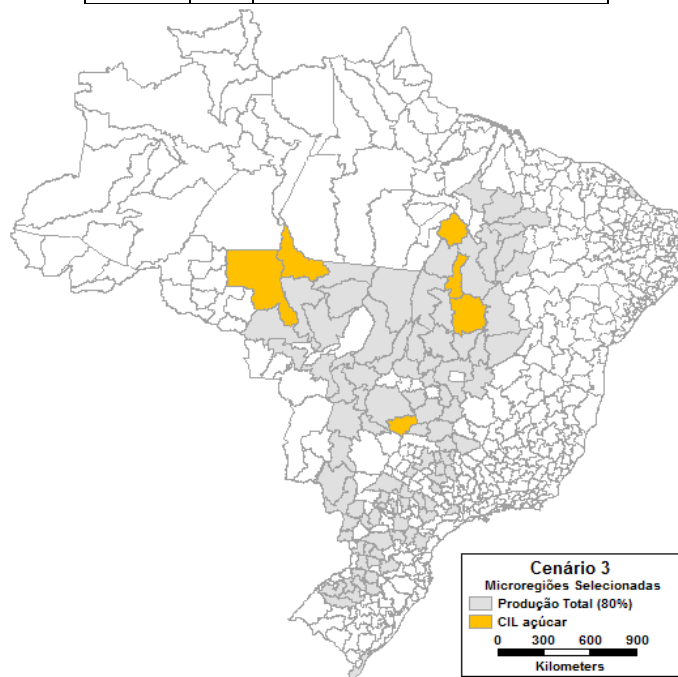
#### 7.5.2.4 CIL para açúcar

No caso da avaliação de CIL exclusivo para movimentação de açúcar, foram identificadas seis microrregiões para instalação deste tipo de facilidade.

Os locais, descritos no Quadro 7.4, são apresentados na Figura 7.22. Neste cenário, a redução do custo total de transporte ficou em 3,4%.

**Quadro 7.4** – Microrregiões habilitadas para implantação de CIL de açúcar.

Região	UF	Microrregião
Norte	TO	Araguaina
		Porto Nacional
		Dianópolis
Centro Oeste	MT	Aripuana
		Alta Floresta
	GO	Quirinópolis



**Figura 7.22** – CIL habilitados para açúcar (2023).

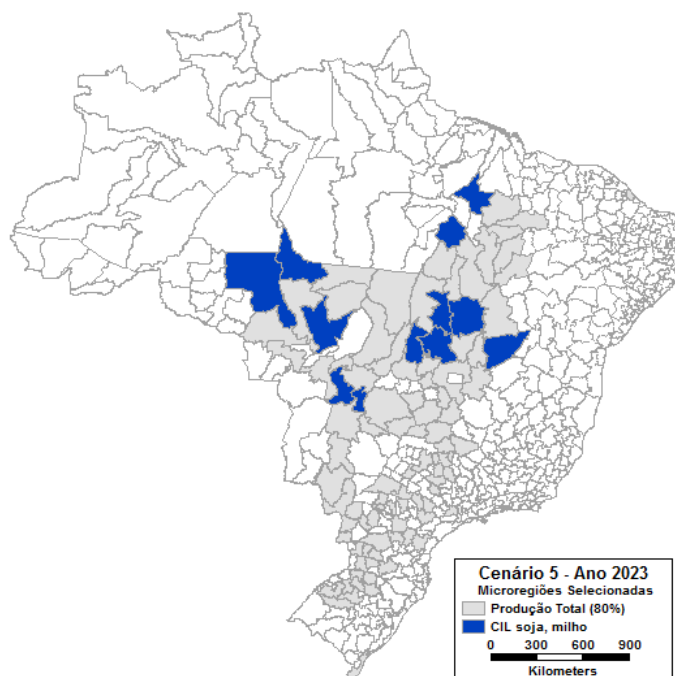
#### 7.5.2.5 CIL para soja e milho

Ao se considerar a produção e consumo de soja e milho em 2023, a aplicação do modelo de localização gera como resultado a indicação de 12 microrregiões para instalação de CIL. Os CIL habilitados para soja e milho foram habilitados nas microrregiões descritas no Quadro 7.5 e apresentadas na Figura 7.23

Considerando que a redução do custo de transporte ocorre na transferência dos fluxos do transporte rodoviário para o transporte multimodal, se obtém, neste cenário, uma redução de custos na ordem de 10,2%.

**Quadro 7.5** – Microrregiões habilitadas para implantação de CIL de soja e milho.

Região	UF	Microrregião
Norte	TO	Araguaina
		Gurupi
		Dianópolis
Nordeste	MA	Imperatriz
	BA	Santa Maria da Vitória
Centro Oeste	MT	Aripuana
		Alta Floresta
		Alto Teles Pires
		Rondonópolis
		Alto Araguaia
	GO	São Miguel do Araguaia
		Porangatu



**Figura 7.23** – CIL habilitados para soja e milho (2023).

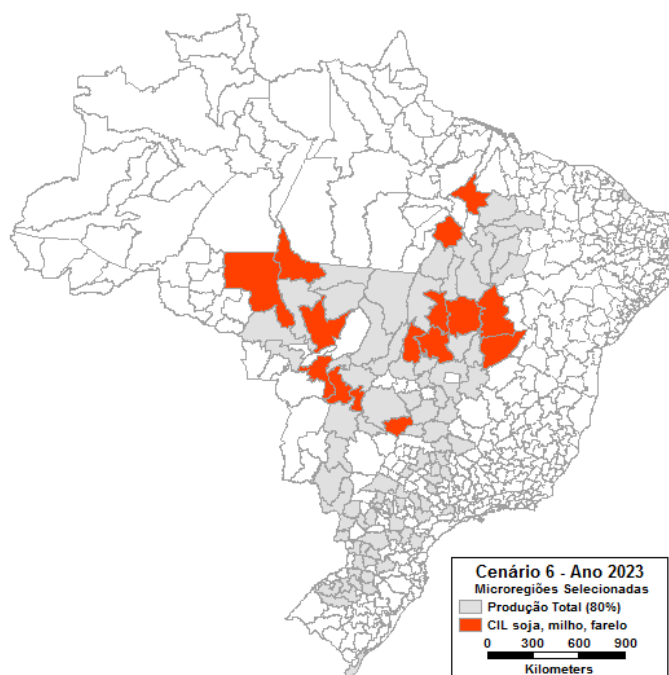
#### 7.5.2.6 CIL para soja, milho e farelo de soja

Para o cenário que considera os três principais produtos selecionados, soja, milho e farelo de soja, foram habilitados 15 CIL conforme Quadro 7.6 e Figura 7.24. A redução no custo de transporte para este cenário foi de 8,4%.



**Quadro 7.6** – Microrregiões habilitadas para implantação de CIL de soja, milho e farelo de soja.

Região	UF	Microrregião
Norte	TO	Araguaina
		Gurupi
		Dianópolis
Nordeste	MA	Imperatriz
	BA	Barreiras
		Santa Maria da Vitoria
Centro Oeste	MT	Aripuana
		Alta Floresta
		Alto Teles Pires
		Cuiabá
		Rondonópolis
		Alto Araguaia
	GO	São Miguel do Araguaia
		Porangatu
		Quirinópolis



**Figura 7.24** – CIL habilitados para soja, milho e farelo de soja (2023).

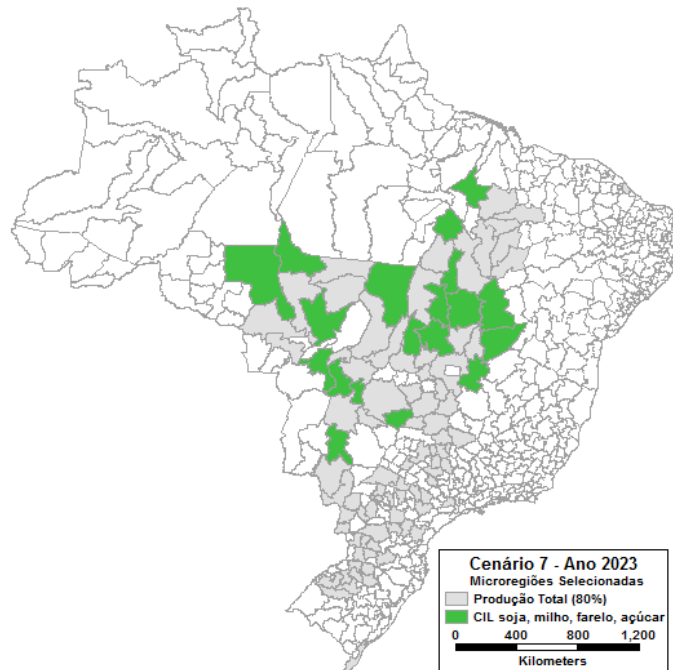
### 7.5.2.7 CIL para soja, milho, farelo de soja e açúcar

O cenário principal, que considera a escolha de localização de CIL para os quatro produtos selecionados resultou na determinação de 19 microrregiões habilitadas para instalação de CIL.

A descrição da localização dos CIL habilitados é apresentada no Quadro 7.7. Na Figura 7.25 observa-se que estes CIL se situam na região Centro Oeste do País, região onde a produção é mais concentrada, e também onde existe a proximidade com a rede ferroviária e hidroviária de caminho mais curto até os portos. Para este cenário, a redução de custos chega a 7,5%.

**Quadro 7.7** – Microrregiões habilitadas para implantação de CIL de soja, milho, farelo de soja e açúcar.

Região	UF	Microrregião
Norte	TO	Araguaina
		Gurupi
		Porto Nacional
		Dianópolis
Nordeste	MA	Imperatriz
	BA	Barreiras
		Santa Maria da Vitória
Centro Oeste	MS	Campo Grande
	MT	Aripuana
		Alta Floresta
		Alto Teles Pires
		Norte Araguaia
		Cuiabá
		Rondonópolis
		Alto Araguaia
	GO	São Miguel do Araguaia
		Porangatu
Quirinópolis		
Sudeste	MG	Unai



**Figura 7.25** – CIL habilitados para soja, milho, farelo de soja e açúcar (2023).

### 7.5.3 Avaliação das localizações de CIL

Ao se avaliar a localização de CIL de cada um dos cenários acima, observa-se uma tendência de concentração dos CIL próximo às áreas de produção, sempre associados à disponibilidade de infraestrutura de integração. Este comportamento reflete as premissas adotadas na construção do modelo matemático, que visa otimizar os custos de transporte pelo incentivo da troca do modo rodoviário pela intermodalidade.

O Quadro 7.8 apresenta um resumo dos tipos de CIL habilitados em cada uma das microrregiões, Estados e regiões do País. Nele é possível verificar os 19 CIL habilitados no cenário mais completo, que considera os quatro produtos selecionados, e seu comportamento em outros cenários.

Observa-se que, no Tocantins, região Norte do País, apenas o CIL habilitado em Porto Nacional, não foi aberto nos cenários de dois e três produtos. Este CIL é habilitado no cenário exclusivo de açúcar e volta a aparecer no cenário de quatro produtos. Os outros três CIL são habilitados para um ou dois produtos individualmente, além dos cenários multiproduto. Na região Nordeste três CIL são sensibilizados em pelo menos um cenário além do cenário completo, um deles no Maranhão e dois na Bahia. O CIL de Barreiras/BA é habilitado apenas a partir da análise de três produtos, os demais são abertos para um ou dois produtos de forma exclusiva e para todos cenários multiproduto.

**Quadro 7.8** – Resumo das localizações de CIL – Cenário 2023.

Região	UF	Microrregião	Soja	Milho	Farelo	Açúcar	Soja, milho	Soja, milho, farelo	Soja, milho, farelo, açúcar
Norte	TO	Araguaina	x			x	x	x	x
		Gurupi	x				x	x	x
		Porto Nacional				x			x
		Dianópolis	x			x	x	x	x
Nordeste	MA	Imperatriz	x				x	x	x
	BA	Barreiras						x	x
		Santa Maria da Vitória	x	x			x	x	x
Centro Oeste	MS	Campo Grande							x
	MT	Aripuana	x	x		x	x	x	x
		Alta Floresta	x	x		x	x	x	x
		Alto Teles Pires	x	x			x	x	x
		Norte Araguaia							x
		Cuiabá			x			x	x
		Rondonópolis		x	x		x	x	x
		Alto Araguaia			x		x	x	x
	GO	São Miguel do Araguaia	x				x	x	x
		Porangatu	x				x	x	x
Quirinópolis				x	x		x	x	
Sudeste	MG	Unaí						x	

Pode-se observar que aqueles CIL habilitados recorrentemente em cenários multiproduto, denotam uma consistência de localização que provavelmente resulta na sua indicação preferencial em cenários onde se restringe o número de CIL habilitados (cenário com restrições de investimento, por exemplo).

Na região Centro Oeste, são habilitados sete CIL somente no Estado de Mato Grosso, outros três CIL em Goiás e apenas um CIL no Mato Grosso do Sul. A maior parte dos CIL da região Centro Oeste, onde se concentra a produção dos grãos vegetais, são habilitados nos cenários multiproduto e também em pelo menos um cenário de carga exclusiva.

Destacam-se, contudo, os CIL, de Campo Grande/MS e Norte Araguaia/MT, que assim como o único CIL habilitado em Minas Gerais, na região Sudeste, são sensibilizados apenas no cenário completo.

#### 7.5.4 Avaliação da redução de custos de transporte a partir da abertura de CIL

A determinação das localizações ótimas para cenários de produtos específicos e também de combinações deles, permite avaliar quais as hipóteses podem gerar maiores economias em termos de redução nos custos de transportes, fator que pode orientar a decisão governamental de política de investimento.

Cabe destacar que o custo direto resultante da Função Objetivo – FO deve ser usado apenas como custo referencial para as análises, pois é baseado nas condições existentes em termos de informação da rede georeferenciada do PNLT e nos custos de fretes assumidos para cada modo.

Assim, no Quadro 7.9, é possível verificar os custos totais da distribuição direta pelo modo rodoviário, considerando as hipóteses assumidas nesta aplicação, e a economia que a instalação de CIL promove a partir do uso da intermodalidade. Também se observa, em cada cenário, a variação na média dos tamanhos de CIL em termos de volumes movimentados, e o percentual da carga total que tem sua rota de transporte desviada para um CIL.

**Quadro 7.9** – Resumo dos resultados dos cenários avaliados.

Produto(s) avaliado(s)	Custo direto FO - (R\$)	Economia gerada pelo uso dos CIL %	Núm. CIL habilitados	Volume médio movimentado pelos CIL	% volume movimentado nos CIL em relação ao volume total
Soja	10.088.907.865	11,5%	10	3.295.871	27,2%
Milho	4.777.836.015	7,1%	6	1.720.438	12,4%
Farelo de soja	3.630.434.730	1,1%	4	2.192.740	19,8%
Açúcar	5.189.385.570	3,4%	6	1.000.000	10,5%
Soja, milho	14.866.743.880	10,2%	12	3.457.499	20,3%
Soja, milho, farelo de soja	18.497.178.609	8,4%	15	3.468.366	20,9%
Soja, milho, farelo de soja, açúcar	23.686.564.180	7,5%	19	3.225.044	20,0%

Analisando as informações apresentadas, pode-se verificar que a abertura de CIL para movimentação exclusiva de soja promove a maior economia percentual, e também a maior utilização em termos de percentual de carga desviada do modo rodoviário para o modo intermodal.

Os CIL para milho, apesar de desviar uma parcela de carga menor, de 12,4%, gera uma economia significativa, em termos de redução de custos. Por outro lado os CIL exclusivos para movimentação de farelo de soja desviam uma parcela de carga de 19,8% mas produzem uma economia marginal de 1,1%.

Ao se avaliar os CIL de mais de um produto, pode-se observar que todas as combinações avaliadas, com dois, três ou quatro produtos, produzem desvios de carga em torno de 20% do volume total, necessitando CIL de tamanhos muito próximos em termos de carga movimentada. As economias percentuais são bastante próximas, contudo em função dos custos totais do transporte direto, é possível concluir que os CIL para quatro produtos é o que produz maiores ganhos para o sistema de transportes do País.

Apesar das informações utilizadas na simulação serem estimados, o modelo matemático se mostra como importante ferramenta de apoio à tomada de decisão no planejamento de transportes, visto que é possível avaliar diferentes cenários de implantação de CIL a partir da comparação dos resultados, maximizando assim os benefícios obtidos a partir das restrições existentes.

## **7.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE**

Considerando os resultados apresentados, foram elaborados alguns cenários adicionais para avaliar resultados derivados da variação de pesos de critérios e restrições presentes no modelo, mas desconsiderados na primeira avaliação como elementos de decisão.

Essas variações são tratadas como “Análise de Sensibilidade”, pois permitem que se avalie o impacto nos resultados do modelo matemático estabelecido, caso condições específicas sejam impostas por alguma razão.

Um dos fatores desconsiderados na aplicação, foi a restrição de investimentos para construção do CIL, representada no modelo matemático descrito no Capítulo 5, pela restrição (5.14).

O segundo elemento, definido na descrição da formulação matemática, mas não considerado na aplicação é o fator de desconto relacionado à economia de escala, que pode estar relacionado tanto ao custo de transporte entre a zona de produção e o CIL, quanto ao custo de transporte entre o CIL, e a zona de consumo, conforme descrito no Capítulo 5.

Estes dois elementos permitem que se analise o impacto que a necessidade ou política de aplicação deles gera no resultado do modelo matemático, ou seja, na redução do custo total de transportes. Assim, serão apresentadas a seguir, as análises referentes a cada um deles.

### **7.6.1 Análise de investimentos em função do número de CIL**

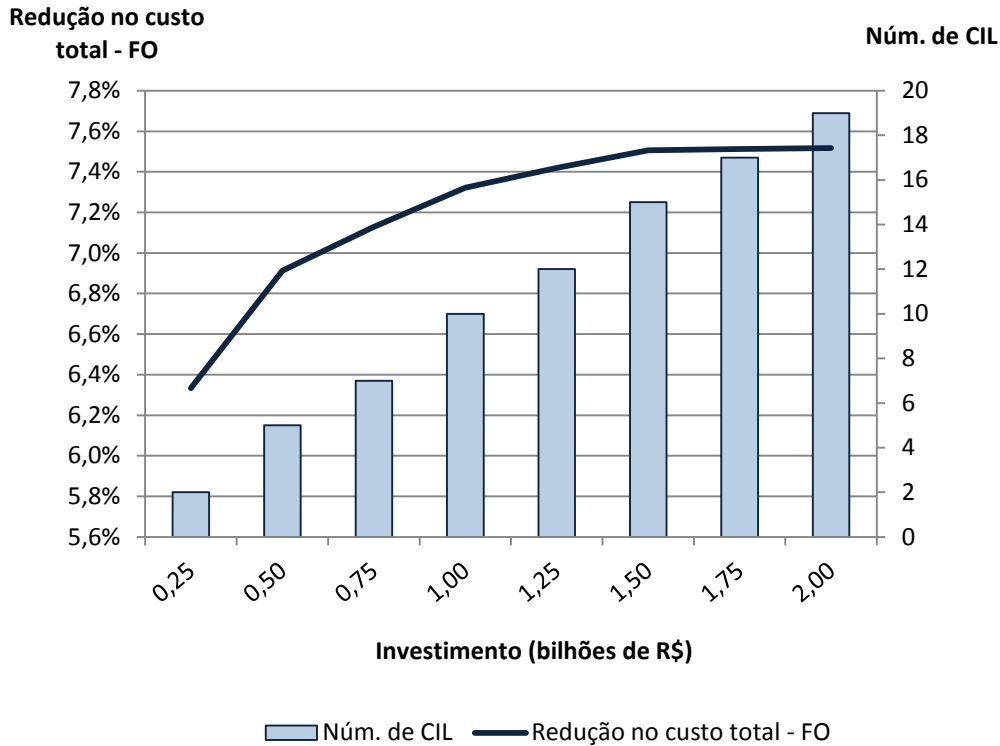
Os cenários apresentados no Quadro 7.9, não consideraram restrições de investimento, portanto, o custo referencial de transporte foi minimizado visando habilitar o conjunto ideal de CIL que promove reduções no custo total. No entanto, em um cenário real, se espera que existam restrições financeiras para implantação das estruturas de CIL.

Para implantação de um CIL foi adotado um custo médio de 100 milhões para a construção de uma unidade com capacidade de movimentação de um volume igual ou maior que um milhão de toneladas, conforme descrito no Capítulo 6, considerando assim, *a priori*, que todos os CIL habilitados têm o mesmo custo de implantação.

Assim, para o cenário de carga completa, ou seja, considerando soja, milho, farelo e açúcar, foram avaliados cenários onde o investimento total em CIL é pré-estabelecido, ou seja, o valor total de investimento nem sempre é suficiente para que sejam habilitados todos os 19 CIL do cenário sem restrição de investimentos.

A Figura 7.26 apresenta a variação na redução de custo total (Função Objetivo – FO), e da quantidade de CIL habilitados, obtidos a partir de diferentes cenários de investimento total.

Observa-se na Figura 7.26 que as maiores reduções de custo acontecem na faixa de investimentos necessárias para abertura de até 10 CIL. Na faixa de investimento que viabiliza de 10 a 15 CIL as reduções começam a ser menores em relação ao que se observa com 10 CIL instalados. A partir da abertura de 15 CIL as reduções de custo são praticamente nulas.



**Figura 7.26** – Redução no custo total em função do nível de investimento.

Esta análise é bastante relevante em termos de planejamento governamental, pois em geral, existem restrições orçamentárias para os investimentos públicos e, a partir da simulação dos cenários, pode-se encontrar o melhor conjunto de estruturas do tipo CIL que devem proporcionar os maiores ganhos em termos de economia global de transportes para o País.

### 7.6.2 Análise de descontos pela utilização do CIL

Nos cenários apresentados anteriormente, o modelo matemático proposto foi aplicado para minimizar os custos de transporte na troca do transporte rodoviário pelo transporte intermodal, pressupondo que a instalação de CIL é condição necessária para o uso do transporte intermodal.

Assim, a justificativa de implantação de um CIL está atrelada à necessidade de promover a utilização dos modos de transporte de menor custo para grandes volumes de carga, ferroviário e hidroviário, viabilizada pela concentração de cargas rodoviárias nas estruturas de integração propostas.



No entanto, ao avaliar os investimentos necessários para 2023, o PNLT prevê o uso da intermodalidade na alocação de fluxo nos caminhos de menor custo, ou seja, a partir do uso das conexões intermodais, sem necessariamente se ter a garantia que estes caminhos serão aqueles escolhidos pelos transportadores de carga.

A ideia de incluir no portfólio de projetos do PNLT o investimento em estruturas de integração do tipo CIL, vem justamente da necessidade de se incentivar o uso das rotas intermodais, pela oferta de serviços e possibilidades de estímulos, em termos de descontos nos custos de transporte.

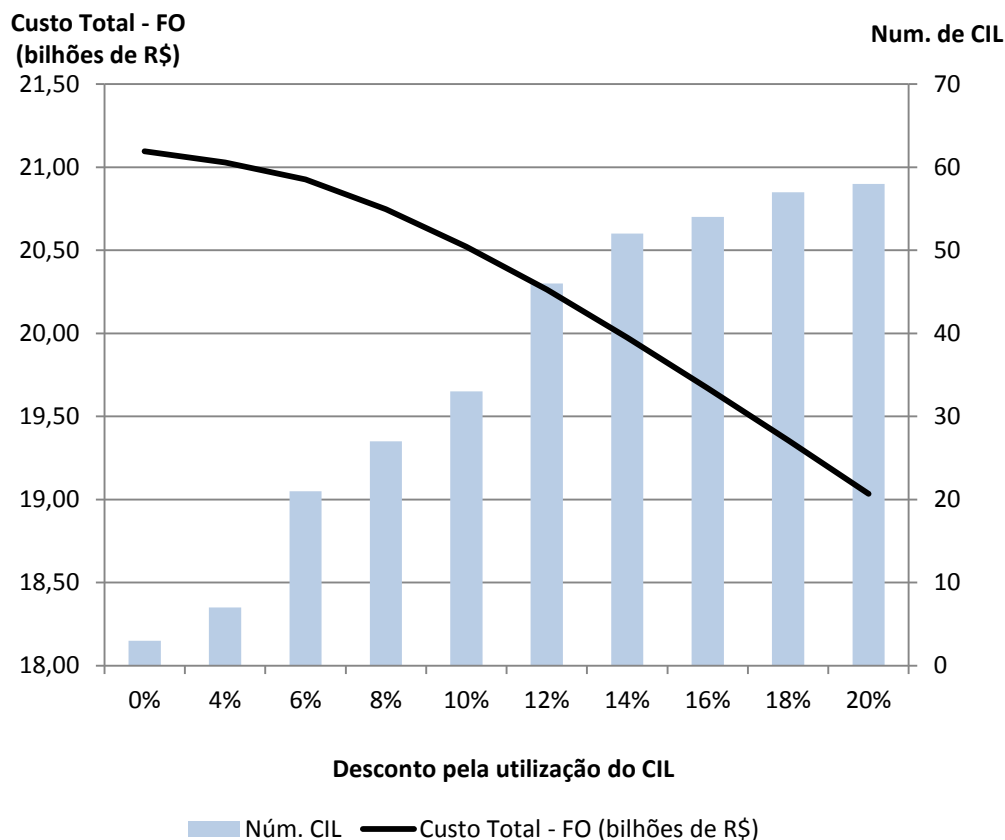
Estes descontos seriam dados por meio de estímulos governamentais, como por exemplo, redução na carga tributária, transformando os CIL em “zonas francas”, ou mesmo se estabelecendo condições de operação de multimodalidade nos CIL, prática hoje inexistente no País devido a entraves regulatórios.

Assim, ao se aplicar o modelo matemático em um cenário que compara o transporte intermodal com o próprio transporte intermodal com uso de CIL, é fundamental que se apliquem descontos nos custos de transporte “após” o CIL, de forma a simular os ganhos de escala e assim, minimizar os custos extras adicionados pela utilização do CIL e também pela escolha de caminhos que podem ser de maior extensão.

Para o cenário com soja, milho, farelo e açúcar, foram avaliados cenários de proposição de CIL a partir de uma política de descontos estabelecidas na troca do transporte intermodal direto, ou seja, pela menor distância, pelo transporte intermodal por meio da utilização de um CIL, com uso obrigatório do transporte rodoviário para alimentação do mesmo.

Para este cenário, foi avaliado o custo total (função objetivo) resultante dos descontos estabelecidos (de 0 a 20%), avaliando ainda o número de CIL habilitados para cada faixa de desconto. A Figura 7.27 apresenta os resultados desta análise.

Ao levar em conta as simulações anteriores que definiram para este mesmo cenário um número ótimo de 19 CIL, é possível verificar que este ponto é atingido com a oferta de descontos no custo do transporte, no trajeto entre CIL e a zona de consumo, na ordem de 4 a 6%. A análise do gráfico nos permite observar que os descontos acima de 12% acentuam a queda nos custos totais, ao mesmo tempo em que reduzem a taxa de crescimento no número de CIL habilitados. Para o desconto máximo aferido de 20%, são validados 58 CIL e o custo total de transporte cai em torno de 11%.

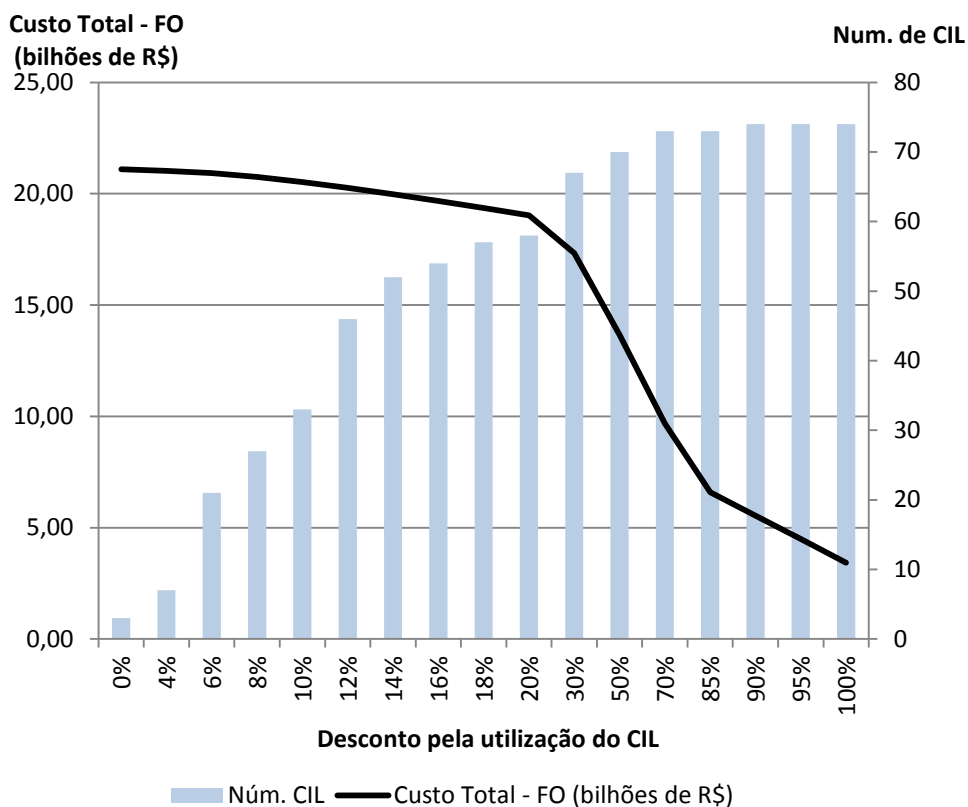


**Figura 7.27** - Redução no custo total em função do nível de desconto adotado.

É curioso observar que mesmo um cenário sem descontos (0%) no custo de transporte pela utilização do CIL, a otimização da função de custo total aponta descontos no custo total de 2% com abertura de três CIL. Ou seja, existe um ganho natural, de otimização do transporte de cargas ao se instalar uma estrutura do tipo CIL, sem a necessidade de estímulos na forma de desconto.

Assim, para fins didáticos de avaliação dos resultados do modelo, uma segunda análise avalia a aplicação de descontos crescentes até o limite de 100%, possibilitando avaliar o impacto no custo total e na validação de abertura de CIL.

A Figura 7.28 apresenta o gráfico de descontos completo, onde se verifica que na faixa de descontos de 20 a 85% a taxa de redução dos custos cai a uma taxa ainda maior que quando os descontos variam de 12 a 20%, voltando a reduzir a variação desta taxa após 85% de desconto.



**Figura 7.28** - Redução no custo total em função do nível de desconto adotado.

Observa-se ainda que a partir de 50% de desconto, a taxa de abertura de CIL fica bem reduzida, chegando a um limite de 74 CIL abertos para um desconto de 90% e permanecendo nesta quantidade a partir deste momento.

Além disso, é importante verificar que mesmo na hipótese de um desconto máximo de 100%, permanece um custo residual de cerca de 15% do custo inicial. Isso significa dizer que a utilização de CIL, propicia uma redução máxima de cerca de 85% no custo total do transporte, porém esta só é obtida mediante o investimento na implantação de 74 CIL e uma política de descontos para o custo de transporte entre o CIL e a zona de consumo de 100%. Este custo residual se deve basicamente ao custo de transporte entre a zona de produção e o CIL e mais a operação do CIL.

No entanto, nesta simulação não foram avaliados a interferência de restrições de investimentos e nem políticas de desconto no transporte. Desta forma, as análises aqui apresentadas não esgotam as possibilidades de avaliação do potencial de aplicação do modelo, mas apontam os benefícios de seu uso no planejamento de políticas públicas de transporte.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

As proposições do planejamento estratégico governamental do setor de transportes, (ressaltando, neste caso, o seu marco indicativo, o Plano Nacional de Logística e Transportes – PNLT) necessitam de aprimoramento técnico que indiquem formas e procedimentos para que se aperfeiçoe a integração modal no transporte de cargas, considerando atributos de custos das cadeias logísticas dos principais produtos nacionais, visando a otimização e racionalização dos custos de transporte no Sistema Nacional de Viação – SNV, e conseqüentemente o equilíbrio da matriz modal de cargas circulantes no Brasil, resultando ainda em menores índices de poluição atmosféricas.

A indicação da localização de estruturas de integração logística e de infraestrutura de transporte surge assim como uma necessidade na orientação das políticas de integração, visando reformular as prioridades de investimentos que permitam a obtenção do equilíbrio da matriz modal de cargas, bem como estabelecer meios práticos e operacionais de incentivo concreto da inter e multimodalidade.

Assim, a localização de estruturas de integração logística é de fundamental importância para atingir os objetivos de equilíbrio no uso dos modos de transporte no Brasil. A revisão dos modelos matemáticos de localização de facilidades apontou a necessidade do desenvolvimento de um modelo adaptado ao problema proposto, considerando múltiplos produtos, com possibilidade de utilização de inter/multimodalidade, e opção de utilização de estruturas de integração logística para ganhos de escala e reduções no custo de transporte.

Desta forma, o modelo proposto visa possibilitar que se determinem estruturas do tipo CIL na rede de infraestrutura do País, possibilitando a otimização do uso dos diferentes modos de transporte e conseqüentemente promovendo a redução dos custos de transporte.

Para tanto, este trabalho se propôs a estabelecer um procedimento metodológico que busca propor a localização de estruturas de integração logística, também chamadas de Centros de Integração Logística – CIL, que promovam a redução dos custos de transporte do País, bem como a redistribuição dos investimentos em transportes do Planejamento Governamental, de forma a incentivar a inter e multimodalidade, considerando, em um estudo de caso, os conjuntos de projetos e produtos indicados pelo PNLT, bem como suas metodologias.

A originalidade do trabalho está na proposição de um modelo matemático de otimização, voltado para o planejamento de transportes, e que considera mais de um tipo de produto na alocação dos fluxos de produção-consumo, bem como a possibilidade de utilização de uma facilidade intermediária para concentração e redistribuição dos fluxos.

A validação deste modelo foi realizada pela aplicação do mesmo a partir da base de dados georeferenciada que compõem o PNLNT, definindo assim a melhor localização dos CIL na rede de infraestrutura nacional. A metodologia aplicada foi proposta e validada nos trabalhos desenvolvidos ao longo das pesquisas da tese: COSTA *et al.* (2012, 2013).

Os resultados avaliados incitam a reorganização de investimentos do PLNT ao definir novos e relevantes pontos na matriz de produção e consumo. Em última análise, a definição da localização do CIL deve ser tratada no desenho da cadeia produtiva daqueles produtos para os quais a inclusão de CIL gerou reduções significativas de custo.

Além disso, verificou-se, pela análise de sensibilidade, que é possível estabelecer um ponto ótimo na definição da quantidade de CIL, visando adequar os interesses distintos que podem balizar a definição de sua implantação.

Com base nessas e outras questões e análises, detalhadas nas descrições ao longo deste trabalho, pode-se concluir que existe vantagens na proposição de utilização de um modelo matemático de localização-alocação para proposição de estruturas de integração logística na rede de transportes nacional. A estruturação do modelo colabora de forma evidente, para análises de políticas de transporte, relacionadas à definição de investimentos, políticas de desconto e incentivos locais à operação intermodal.

A partir dessas argumentações, conclui-se que, além da validade da proposição metodológica descrita nesta Tese, observa-se ainda, que tal procedimento contribuiu com o aprimoramento dos mecanismos de planejamento de políticas governamentais no que tange às decisões sobre investimentos em projetos de infraestrutura de transportes.

Nesse contexto, e considerando todas as suposições, simplificações e hipóteses adotadas, bem como as limitações da metodologia proposta nesta Tese, cabem ressaltar algumas recomendações. Essas recomendações podem ser desenvolvidas por meio de outros trabalhos científicos ou por estudos técnicos, direcionados, não se limitando

somente às informações do PNLT, utilizado nesta Tese como referência para aplicação do procedimento proposto.

O modelo matemático apresentado foi desenvolvido para avaliar múltiplos produtos, contudo, a aplicação apresentada adotou uma simplificação ao escolher os produtos para validação dentro do mesmo grupo produtivo, ou seja, produtos com características de manipulação e armazenamento similares, reduzindo assim a necessidade de avaliar custos distintos na definição dos CIL.

Produtos com características específicas de transporte e manipulação, como contêineres, que têm ampliado sua participação nos modos ferro e hidroviário, precisam estudos mais específicos para identificar quais as variáveis e critérios que devem ser incorporadas ao modelo para estimular o uso de CIL.

Também deve ser previsto em trabalhos futuros que visem o desenvolvimento e aperfeiçoamento deste modelo, que os fluxos gerados pelo modelo de otimização, sejam explicitados de forma a caracterizar a rede de transporte final utilizada.

Outra recomendação que se faz necessária na análise do modelo e seus resultados é a incorporação de fatores temporais ao modelo, ou seja, em vez de avaliar de forma agregada os volumes anuais que justificam a abertura de estruturas do tipo CIL, caberia verificar aspectos relacionados à utilização do mesmo ao longo do ano, levando-se em conta a sazonalidade dos produtos estabelecidos para seu uso.

No desenvolvimento do modelo matemático foram adotados para definição de localização, apenas os critérios de custo, fator que pode ser revisto para tentar aumentar a abrangência de sua aplicação. Fatores que podem variar em função de questões regionais, como tributação, por exemplo, podem ser considerados na escolha da localização dos CIL, ampliando o escopo da análise e resultando em cenários mais próximos à realidade.

Além disso, cabe destacar que a visão do problema se deu de forma normativa, ou seja, apenas considerando a visão do Governo, na redução nos custos totais, não levando em conta, a visão empresarial, que incorpora objetivos distintos, como obtenção de lucro, por exemplo, e incorpora critérios de escolha em função do momento de uso.

Destaca-se que a aplicação proposta nesta Tese para validar o modelo matemático apresentado, conforme exposto anteriormente, tem como base o planejamento governamental, e por esta razão leva em conta apenas a visão de Governo.

No entanto, o modelo apresentado pode ser aplicado a diferentes cenários, com distintos tomadores de decisão, inclusive levando em conta critérios de escolha do setor privado. No entanto para que isto ocorra, é necessário que se avaliem melhor os critérios de escolha de localização, bem como a função objetivo, que poderia estar associada a aumento de lucro.

Além disso, o CIL proposto visa atender basicamente operações de concentração de carga, conceito que pode ser expandido para agregação de serviços e assim atingir novas cadeias produtivas, possibilitando ainda atender a outros tipos de estudo, como o de Zonas Logísticas Portuárias e de Plataformas Logísticas.

Por fim, a proposição de aplicação de um modelo matemático, conforme definido e apresentado neste trabalho, para fins de otimização de custos de transporte a partir da avaliação da localização de centros de integração logística, se mostrou como uma importante ferramenta para o aprimoramento de mecanismos técnicos e científicos voltados ao planejamento estratégico de transportes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, A. 2011. **Intermodalidade e Multimodalidade**. Artigo do Centro de Estudos em Logística – CEL do Instituto COPPEAD de Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro/RJ.
- ALVES, M.B..2002. A Formação dos Sistemas Urbanos. In: COSTA, José Silva (Coord.). **Compêndio de Economia Regional**, APDR, Coimbra, Portugal.
- AMIRI, A. 2006. “Designing a Distribution Network in a Supply Chain System: Formulation and Efficient Solution Procedure”. **European Journal of Operational Research**, n.171, pp.567–576.
- ANDRADE, A.R.; BALASSIANO, R.; SANTOS, M.P.S. 2005. “Informação e Planejamento de Transportes”. **III Rio de Transportes**, BNDES, Rio de Janeiro/RJ.
- ÂNGELO, L.B. 2005. **Custos Logísticos de Transferência de Produtos**. Relatório de Estudos Realizados. Grupo de Estudos Logísticos – GELOG, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis/SC.
- ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. 2012. **Informativo da Navegação Interior – 2º Trim/2012**, Informativo Trimestral, Superintendência de Navegação Interior – SNI, Brasília/DF.
- \_\_\_\_\_. 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 Georeferenciada e Sistema de Informações Geográficas. Brasília/DF, 95p.
- ANTP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE PÚBLICO. 1997. **Transporte Humano: Cidades com Qualidade de Vida**. São Paulo/SP.
- ANTT – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. 2012a. Sistema de Acompanhamento e Fiscalização de Transporte Ferroviário – SAFF. Brasília/DF.
- \_\_\_\_\_. 2012b. **Conjunto de Resoluções que Autorizam a Revisão das Tarifas de Referência do Serviço de Transporte Ferroviário de Cargas das Concessionárias de Transporte Ferroviário**. Brasília/DF.
- ANTÚN, J.P., HERNÁNDEZ, J.C., LOZANO, A. 2000. “Soportes Logísticos de Plataforma: Una Herramienta para el Mejoramiento de la Competitividad Metropolitana”.



- In: **III Seminario Internacional de Ingeniería de Sistemas**, Academia Mexicana de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, UNAM, Ixtapa-Zihuatanejo, Noviembre, pp.4-56 a 4-72.
- ARAKAKI, R.G.I. 2003. **Heurística de localização-alocação para problemas de localização de facilidades**. Tese de Doutorado, Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos/SP, 79 p.
- ARAKAKI, R.G.I.; LORENA, L.A.N. 2006. “Uma Heurística de Localização-Alocação (HLA) para Problemas de Localização de Facilidades”. **Produção**, v. 16, n. 2, pp. 319-328.
- ARBACHE, J.S.; NEGRI, J.A.de. 2003. “Abertura Econômica e Competitividade Industrial: uma Análise Preliminar”. In: Benecke, D. W.; Nascimento, R. (Org). **Opções de Política Econômica para o Brasil**. Konrad Adenauer, Rio de Janeiro/RJ, pp.161–184.
- BACOVIS, M.M.C. 2007. “Estudo Comparativo das Plataformas Logísticas Europeias Versus Brasileiras, como Forma de Identificar um Modelo que Atenda as Empresas do Pólo Industrial de Manaus – PIM”. **II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica**, CONNEPI, João Pessoa/PB.
- BALLOU, R.H. 2001. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial**. Bookman, São Paulo/SP.
- BARAT, J. 1978. **A Evolução dos Transportes no Brasil**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Instituto de Planejamento Econômico e Social – IPEA, Rio de Janeiro/RJ, 385p.
- BARAT, J. 2007. **Logística e Transporte no Processo de Globalização: Oportunidades para o Brasil**. Instituto de Estudos Econômicos e Internacionais – IEEL, Fundação Editora da UNESP – FEU: São Paulo/SP.
- BHATNAGAR, R., JAYRAM, J., PHUA, Y.C. 2003. “Relative Importance of Plant Location Factors: a Cross National Comparison Between Singapore and Malaysia”. **Journal of Business Logistics**, n.24, pp.147-170.
- BIBERACHER, M. 2008. “GIS-Based Modeling Approach for Energy Systems”. **International Journal of Energy Sector Management**, v. 2, n.3, pp. 368-384.
- BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. 2011. **Corredor Bioceânico Ferroviário – Estudos Técnicos Referentes ao Eixo de Capricórnio**. 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.

\_\_\_\_\_. 2000. **Identificação de Oportunidades de Investimentos Públicos e/ou Privados: Estudo dos Eixos Nacionais de Integração e Desenvolvimento**. Relatório Síntese, Tomos I e II, Consórcio Brasiliana, Brasília/DF.

BOCCIA, M., CRAINIC, T.G., SFORZA, A., STERLE, C. 2011. “Location-Routing Models for Designing a Two-Echelon Freight Distribution System”. **Technical Report**, CIRRELT- 2011-06, Universidade de Montreal, Montreal, Canadá, 27p.

BOOZ ALLEN HAMILTON 2004: **Programa Estadual de Logística de Transportes do Estado da Bahia – PELTBAHIA**, Relatório Síntese, FLEM/SEINFRA, Salvador/BA.

BOUDOUIN, D. 1996. “Logística-Território-Desenvolvimento: O Caso Europeu”. **I Seminário Internacional: Logística, Transportes e Desenvolvimento**. Departamento de Engenharia de Transportes – DET, Centro de Tecnologia – CT, Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza/CE.

BRAGA, M.E. 2008. **Contribuição Metodológica para Estruturação de um Modelo Nacional de Transportes para o Brasil com Ênfase no Desenvolvimento**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes – PET, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ.

BRANDEAU, M. L., CHIU, S. S. 1989. “Overview of Representative Problems” In: **Management Science: Location Research**, n.35, v.6, pp.645-674.

BRASIL. 1995. Lei nº 8.987, de 13 Fevereiro de 1995. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília/DF, 13 fev.

\_\_\_\_\_. 1934. Decreto nº 24.497, de 29 de junho de 1934. Aprova o Plano Geral de Viação Nacional e dá Outras Providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília/DF, 29 jun.

CALDAS, M.A.F., MELLO, J.C.C.B.S., MEZA, L.A., AZEVEDO, F. 2009. “Uso do Método de Copeland Hierárquico para Localização de Terminal Multimodal de Cargas”. **XXIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**, ANPET, Vitória/ES.

- CALIPER CORPORATION. 2011. **TransCAD User's Guide**. Version 5.0 for use with Microsoft Windows, Newton/MA, USA.
- CAMBRA-FIERRO, J.C., RUIZ-BENITEZ, R. 2009. "Advantages of Intermodal Logistics Platforms: Insights from a Spanish Platform". **Supply Chain Management: An International Journal**, v.14, n.6, pp.418–421.
- CARNASCIALI, A.M.S.; DELAZARI, L.S. 2007. "Integração de Sistemas de Informações Geográficas e Técnicas de Inteligência Artificial para Auxiliar a Tomada de Decisão Locacional do Setor Bancário". In: **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.13, pp.353-368.
- CASTOR, B.V.J. 1999. "Custo Brasil: Muito Além dos Suspeitos Habituais". **Revista. FAE**, v.2, n.2 (maio/ago), pp.1-6, Curitiba/PR.
- CASTRO, N.; CARDOSO, L.C.; ESPOSITO, J.R. 1997. **Definição e Implementação dos Novos Marcos Regulatórios nas Áreas de Infra-Estrutura – Setor Ferroviário**. Núcleo de Estudos e Modelos Espaciais Sistêmicos – NEMESIS. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. Rio de Janeiro/RJ.
- CASTRO, N.R. 2004. **Logistic Costs and Brazilian Regional Development**. NEMESIS - Nucleo de Estudos e Modelos Espaciais Sistemicos Working Paper No. NXXXL, Aug.
- CHAVES, A.A., CORREA, F.A., LORENA, L.A.N. 2007. "Clustering Search Heuristic for the Capacitated p-Median Problem". **Springer Advances in Software Computing Series**, n.44, pp.136-143.
- CHOPRA, S., MEINDL, P. 2003. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. Prentice Hall, São Paulo/SP.
- CHUANG, P.T.2001. "Combining the Analytic Hierarchy Process and Quality Function Deployment for Location Decision from a Requirement Perspective". **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, n.18, pp.842-849.
- CHURCH R L, SORENSEN P 1996 "Integrating Normative Location Models Into GIS: Problems and Prospects with the p-Median Model". In Longley, P, Batty, M (eds) **Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment**. GeoInformation International, Cambridge, UK, pp.167–83.
- CHURCH, R.L., MURRAY, A.T. 2009. **Business site selection, location analysis and GIS**. Wiley, New York.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, COPPEAD – INSTITUTO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO. 2002. **Transporte de Cargas no Brasil: Ameaças e Oportunidades para o Desenvolvimento do País – Diagnóstico e Plano de Ação**. Confederação Nacional do Transporte – CNT, Brasília/DF. Centro de Estudos em Logística – CEL do Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração – COPPEAD, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro/RJ.

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.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2013. Tarifas de Armazenagem – 01/03/2013. CONAB: Produtos e Serviços \ Armazenagem \ Tarifas de Armazenagem \ PGPM – Política de Garantia de Preços Mínimos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília/DF.

COSTA, .B., NASSI, C.D., RIBEIRO, G.M. 2013. “A Methodology for Location of Logistics Platforms Using Geographic Information Systems”. **Journal of Traffic and Logistics Engineering**, JTLE, v.1, n.2, December, San Jose/CA, USA.

\_\_\_\_\_. 2012. “Modelo de Localização de Plataformas Logísticas com Auxílio de um Sistema de Informações Geográficas”. **XVII Congresso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística**, PANAM 2012 (septiembre), Santiago do Chile.

CRAINIC, T., LAPORTE, G. 1997. “Planning Models for Freight Transportation”. **European Journal of Operational Research**, n.97, pp.409-438.

DASKIN, M.S. 2008. What you should know about location modeling. **Naval Research Logistics** 5, pp.283-294.

\_\_\_\_\_. 1995. **Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications**. Wiley Interscience, New York.

DAVID, R.K. 2007. **Contribuição à Escolha Modal no Transporte de Carga: um Modelo de Decisão Baseado nos Custos Operacionais de Transportes Terrestres**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes – PET, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ.

- DENSHAM P. J. 1996 “Visual Interactive Locational Analysis”. In Longley, P, Batty, M (eds) **Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment**. GeoInformation International, Cambridge, UK, pp.185–205
- DIAS, J.C.Q. 2005. **Logística Global e Macrologística**. 1a. Edição, Edições Sílabo: Lisboa, Portugal.
- DIAZ, J. A., FERNANDEZ, E. 2006. “Hybrid Scatter Search and Path Relinking for the Capacitated p-Median Problem”. **European Journal of Operational Research**, n.169, pp.570–585.
- DOBRUSKY, F.G. 2003. **Optimal Location of Cross-Docking Centers for a Distribution Network in Argentina**. Master Degree Dissertation, Engineering in Logistics, Engineering Systems Division. Massachusetts Institute of Technology – MIT.
- DRESNER Z. 1995 **Facility Location: a Survey of Applications and Methods**. Springer, New York.
- DREZNER, R., HAMACHER, H.W. 2002. **Facility Location: Applications and Theory**.XV, Springer,Verlag, Berlin, 458p.
- DRUMMOND, M.A.B. 2008. **Uma Contribuição ao Estudo dos Custos de Transporte Doméstico de Carga no Brasil**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes – PET, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ.
- DUARTE, P.C. 2004. **Desenvolvimento de um Mapa Estratégico para Apoiar a Implantação de uma Plataforma Logística**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre/RS, 284 p.
- \_\_\_\_\_. 2003. “Plataforma Logística como um Processo de Clusterização: Uma Possibilidade para os Setores Produtivos do Rio Grande do Sul”. **XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, ENEGEP, Ouro Preto/MG.
- \_\_\_\_\_. 1999. **Modelo para o Desenvolvimento de Plataforma Logística em um Terminal: Um Estudo de Caso na Estação Aduaneira do Interior – Itajaí/SC**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis/SC, 100 p.

- 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. 177p.
- DUBKE, A.F.; FERREIRA, F.R.N.; PIZZOLATO, N.D. 2004. “Plataformas Logísticas: Características e Tendências para o Brasil”. In: **XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, ENEGEP, Florianópolis/SC, pp.841-848.
- ELLER, R.A.G., SOUSA JR, W.C., CURI, M.L.C. 2011. “Custos do Transporte de Carga no Brasil: Rodoviário versus Ferroviário”. **Revista de Literatura dos Transportes**, v.5, n.1, Diretório de Pesquisas, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Sociedade Brasileira de Planejamento de Transportes, pp. 50-64.
- EUROPLATFORMS. 2004. **Logistics Centres: Directions for Use**. What is a Freight Village. Europlatforms EEIG, Freight Villages Association of Forwarding, United Nations Economic Commission for Europe – UNECE, Geneva, Switzerland.
- FARAHANI, R.Z., STEADIESEI, M., ASGARI, N. 2010. “Multiple Criteria Facility Location Problems: a Survey”. **Applied Mathematical Modelling**, n.34, pp.1689-1709.
- FAY, M., MORRISON, M. 2007. **Infrastructure in Latin America And the Caribbean: Recent Developments and Key Challenges**. The International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank: Washington/DC, 130p.
- FERREIRA, C.M.C. 1989. “As Teorias da Localização e a Organização Espacial da Economia”. In: Haddad, P.R. (Org.). **Economia Regional: Teorias Métodos de Análise**. Banco do Nordeste do Brasil – BNB, escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE, Fortaleza/CE.
- GALLONI, G. 2000. **Quality of Freight Villages Structure and Operations: Final Report for Publication**. Europlatforms – EEIG, Project Funded by the European Commission Under the Transport RTD Programme of the 4th Framework Programme.
- GALVÃO, O.J.A. 1996. “Desenvolvimento dos Transportes e Integração Regional no Brasil: Uma Perspectiva Histórica”. **Planejamento e Políticas Públicas**, n.13, junho.
- GALVÃO, F. A., GUALDA, N. D. F., CUNHA, C. B. 2003. “An Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) for Locating a Distribution Center”. In: **International Symposium on the Analytic Hierarchy Process**, Bali, Indonésia.

GEIPOT – EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES. 2001. **Corredores Estratégicos de Desenvolvimento: Alternativas de escoamento de Soja para Exportação**. Ministério dos Transportes, Brasília/DF.

\_\_\_\_\_. 1999. **Corredores Estratégicos de Desenvolvimento: Relatório Final**. Ministério dos Transportes, Brasília/DF.

\_\_\_\_\_. 1987. **Programa de Desenvolvimento do Setor Transporte – PRODEST 87/90**. Ministério dos Transportes, Brasília/DF.

GEOFFRION, A.M., GRAVES, G.W. 1974. “Multicommodity Distribution System Design by Benders Decomposition”. **Management Science**, n.20, pp.822-844.

GOETSCHALCKX, M. 2011. “Supply Chain Models”. In: **Supply Chain Engineering: International Series in Operations Research & Management Science**. Springer, pp.521-613.

GU, W.; WANG, X.; GENG, L. 2009. “GIS-FL Solution: a Spatial Analysis Platform for Static and Transportation Facility Locational Location Problem”. In: **International Symposiumon Methodologies for Intelligent Systems**, n.28. Springer LNAI, Prague.

GUASCH J.L. 2002. **Logistics Costs and their Impact and Determinants in Latin America and Caribbean**. The World Bank. Washington, DC. Mimeo.

HAMAD, R. 2006. **Modelo para Localização de Instalações em Escala Global Envolvendo Vários Elos da Cadeia Logística**. Dissertação de Mestrado, Engenharia de Sistemas Logísticos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – POLI/USP, São Paulo, SP.

HANDLER, G.Y., MIRCHANDANI, P.B. 1979. **Location on Networks: Theory and Algorithms**. MIT Press, Cambridge/MA.

HILLIER, F.S., LIEBERMAN, G.J. 2010. **Introdução à Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro; Campus Editora.

HURTER, A.P., MARTINICH, J.S. 1989. **Facility Location and the Theory of Production**. Kluwer, Boston MA.

IBM Ilog. 2013. CPLEX User’s Guide. Copyright by IBM.

- JAYARAMAN, V., PIRKUL, H. 2001. “Planning and Coordination of Production and Distribution Facilities for Multiple Commodities”. **European Journal of Operational Research**, n.133, pp.394–408.
- KARKASIS, J., BOFFEY, T.B. 1981. “The Multi-Commodity Facilities Location Problem”. **The Journal of the Operational Research Society**, v.32, n.9 (September), pp.803-814.
- KIM, N.S., WEE, B.V. 2011. “The Relative Importance of Factors that Influence the Break-Even Distance of Intermodal Freight Transport Systems”. **Journal of Transport Geography**, n.19, pp.859–875.
- KLOSE, A., DREXL, 2005. “Facility Location Models for Distribution System Design”. **European Journal of Operational Research**, Logistics: From Theory to Application, v.162, n.1, pp.4-29.
- KONINGS, J.W. 1996. “Integrated Centres for the Transshipment, Storage, Collection and Distribution of Goods: A Survey of the Possibilities for a High-Quality Intermodal Transport Concept”. **Transport Policy**, v.3, n.1 /2, Elsevier Science Ltd: Great Britain, pp. 3-11.
- KOTLER, P. 1974. **Administração de Marketing: Análise, Planejamento e Controle**. Atlas, São Paulo/SP.
- KRARUP, J., PRUZAN, P.M. 1990. “Ingredients of Location Analysis”. In: Mirchandani, P.B. e Francis, R.L. (Eds) **Discrete Location Theory**, John Wiley, New York, pp.1-54.
- LACERDA, L. 1999. **Considerações sobre o Estudo de Localização de Instalações**. Artigo do Centro de Estudos em Logística – CEL, Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração – COPPEAD, Universidade Federal do Rio de Janeiro/RJ.
- LI, X. 2013. An Integrated Modeling Framework for Design of Logistics Networks with Expedited Shipment Services. **Transportation Research Part E** 56, 46–63
- LIMA, R.S. 2003. **Bases para uma Metodologia de Apoio à Decisão para Serviços de Educação e Saúde sob a Ótica dos Transportes**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos/SP.
- LOPEZ, R.A., HENDERSON, N.R. 1989. “The Determinants of Location Choices for Food Processing Plants”. **Agrobusiness**, v.5, pp.619-632.



LORENA, L.A.N. 2003. “Análise Espacial de Redes com Aplicações em Sistemas de Informações Geográficas”. **Produção Online**, v.3, n.2. Revista Científica de Engenharia de Produção, Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

LORENA, L.A.N.; SENNE, E.L.F.; PAIVA, J.A.C.; PEREIRA, M.A. 2001. “Integração de Modelos de Localização a Sistemas de Informações Geográficas”. **Gestão e Produção**, v.8, n.2. Departamento de Engenharia de Produção – DEP, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos/SP, pp.180-195.

LOVE, R.F., MORRIS, J.G., WESOLOWSKY, G.O. 1988. **Facilities Location: Models and Methods**, North Holland.

LU, Z. BOSTEL, N. 2007. “A Facility Location Model for Logistics Systems Including Reverse Fows: the Case of Remanufacturing Activities”. **Computers & Operations Research**, v.34, pp.299–323.

LUNA, M. M. M.; LUNA, P.T.M.; FRIES, C.E. *et al.* 2011. “Planejamento de Logística e Transporte no Brasil: Uma Análise dos Planos Nacional e Estaduais”. In: **XXV ANPET – Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes**. Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2011, v.1 (novembro), p. 1738-1749. Belo Horizonte/MG.

MAGALHÃES, M.T.Q. 2004. **Metodologia para Desenvolvimento de Sistemas de Indicadores: uma Aplicação no Planejamento e Gestão da Política Nacional de Transportes**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília – UNB, Brasília/DF.

MANTEGA, G. 1997 “Globalização Selvagem e Custo Brasil”. In: Silva, L.I.L. (Coord.); Mantega, G. (Org.); Vanuchi, P. (Org.). **Custo Brasil: Mitos e Realidades**. Vozes, Petrópolis/RJ, p.11–18.

MAPA, S.M.S. 2007. **Localização-Alocação de Instalações com Sistema de Informações Geográficas e Modelagem Matemática**. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá/MG.

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 e Produção**, v.19, n.1. Departamento de Engenharia de Produção – DEP, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos/SP.

MAPA, S.M.S., LIMA, R.S., MENDES, J.F.G. 2006. “Localização de Instalações com o Auxílio de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Modelagem Matemática”. **XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, ENEGEP, Fortaleza/CE.

MAPA, S.M.S., MENDES, J.F.G., LIMA, R.S. 2007. “Combining Geographic Information Systems (GIS) and Mathematical Modeling to Location-Allocation Problems in Education Facilities Management”. In: Silva, A.N.R., Souza, L.C.L. (org.). **Book of abstracts of the 10<sup>TH</sup> International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management - CUPUM**, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos/SP.

MARTEL, A., VIEIRA, D. R. 2010. **Análise e projeto de redes logísticas**. Saraiva, São Paulo/SP.

MELLO, J.C. 1975. **Planejamento em Transportes**. McGraw-Hill do Brasil, Rio de Janeiro/RJ.

MELO, M.T., NICKEL, S., SALDANHA-DA-GAMA, F. 2009. “Facility Location and Supply Chain Management – A Review”. **European Journal of Operational Research**, n.196, v.2, pp.401–412.

MFE – MINISTÉRIO DE FOMENTO DA ESPANHA. 1999. **Plataformas Logísticas y Centros de Transporte de Mercancías en España: Uma Visión de la Situación Actual y Propuesta de Intervencion**. Um Resumen de Conclusiones de Três Estúdios para el Ministério, Telecotrans, setembro.

MLADENOVIC, N., LABBÉ, M., HANSEN, P. 2003. “Solving the p-Center Problem with Tabu Search and Variable Neighborhood Search”. **Networks**, v.42, n.1, pp.48- 64.

MT – MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. 2012. **Plano Nacional de Logística e Transportes – PNLT: Relatório Executivo**. Brasília/DF, 260p.

\_\_\_\_\_. **Planos de Viação: Evolução Histórica 1808–1973**. Conselho Nacional de Transportes, Rio de Janeiro/RJ.

MT – MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, MD – MINISTÉRIO DA DEFESA. 2007. **Plano Nacional de Logística e Transportes – PNLT: Relatório Executivo**. Brasília/DF, 468p.

\_\_\_\_\_. 2009. **Plano Nacional de Logística e Transportes – PNLT: Relatório Executivo**. Brasília/DF, 88p.

NARUO, M.K. 2003. **O Estudo do Consórcio entre os Municípios de Pequeno Porte para Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos Utilizando Sistemas de Informações Geográficas**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos/SP.

NAZÁRIO, P. 2000a. “Papel do Transporte na Estratégia Logística”. In: Fleury, P.F., Wanke, P., Figueiredo, K.F. (Org.) **Logística Empresarial. A Perspectiva Brasileira**. Coleção COPPEAD de Administração, Centro de Estudos em Logística – CEL, COPPEAD/UFRJ, Atlas, São Paulo/SP.

\_\_\_\_\_. 2000b. “Intermodalidade: Importância para a Logística e Estágio Atual no Brasil”. **Revista Tecnológica**, n.53 (abril), São Paulo/SP, pp.32-39.

NICKEL, S., PUERTO, J. 2005. **Location Theory: a Unified Approach**. Springer-Verlag, Berlin.

NOGUEIRA, T.A.F.M.P. 2007. **Localização de Unidades de Fornecimento de Gás Natural na Rede Primária de Gasodutos**. Tese de Doutorado. Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal. 281 p.

NTC & Logística – Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística. 2013. **Tabelas Referenciais de Custos do Transporte Rodoviário de Cargas – TRC**. CD-Rom. São Paulo/SP.

PAVAN, R.C. 2011. **A Redução dos Custos Logísticos: O Maior Desafio da Engenharia Brasileira para Manter um País Exportador Competitivo. Seminário sobre Os Caminhos da Engenharia Brasileira**. Publicações Técnicas, Instituto de Engenharia, São Paulo/SP.

PEREIRA, L.A.G. 2010 **Planejamento e Desenvolvimento: Logística de Transportes e Exportações na Mesorregião Norte de Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Social – PPGDS, Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES, Montes Claros/MG.

- PEREIRA, O.C. 2009. **Soluções de Otimização da Eficiência Energética de uma Ferrovia de Carga: O Caso da Estrada de Ferro Carajás – EFC**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica – PUC, Rio de Janeiro/RJ.
- PERROUX, F. 1977. “O Conceito de Pólo de Desenvolvimento. Trad. Simão Pedro Casassanta”. In: Schwartzman, J. (Org.). **Economia Regional: Textos Escolhidos**. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional de Minas Gerais – CEDEPLAR, Faculdade de Ciências Econômicas – FACE, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte/MG.
- PIARC – PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ROAD CONGRESSES. 2000. **Highway Development and Management System – HDM**, Version 4. World Road Association, Paris, França.
- PIRKUL, H., JAYARAMAN, V. 1998. “A Multi-Commodity, Multi-Plant, Capacitated Facility Location Problem: Formulation and Efficient Heuristic Solution”. **Computers & Operations Research**, v.25, pp.869-878.
- PISHVAEE M.S., FARHANI, R.Z. e DULLAERT, W. 2010a. “A Memetic Algorithm for bi-Objective Integrated Forward/Reverse Logistics Network Design”. **Computers & Operations Research**, v.37, pp.1100-1112.
- PISHVAEE, M.S., KIANFAR, K., KARIMI, B. 2010b. “Reverse Logistics Network Design Using Simulated Annealing”. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v.47, pp.269–281.
- PIZZOLATO, N.D.; SILVA, H.B.F. 1997. “The Location of Public Schools: Evaluation of Practical Experiences”. **International Transactions in Operational Research**, v. 4, n. 1, pp.13-22.
- POSCHET, L.; RUMLEY, P.A. e DE TILIÈRE, G. *et al.* 2000. **Plates-Formes Logistiques Multimodales et Multiservices**, Direction du PNR 41, Programme National de Recherche: Transport et Environnement, Interactions Suisse-Europe, École Polytechnique Fédérale de Lausanne – EPFL, Lausanne, Suíça, 134p.
- REBELO, J. 2011. **Logística de Carga no Brasil: “Como reduzir Custos Logísticos e Melhorar Eficiência?”: Sumário Executivo**. Sustainable Development Department, Latin America and the Caribbean Region, The World Bank.

- REVELLE, C.S., EISELT, H.A., DASKIN, M.S. 2008. “A Bibliography for Some Fundamental Problem Categories in Discrete Location Science”. **European Journal of Operational Research**, v.184, pp.817-848.
- RIBEIRO, P.C.C.; FERREIRA, K.A. 2002. “Logística e Transportes: Uma Discussão sobre os Modais de Transporte e o Panorama Brasileiro”. **XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, ENEGEP, Curitiba/PR.
- RODRIGUES, P. R. A. 2004. **Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e à Logística Internacional**. 3ªed., Aduaneiras, São Paulo/SP.
- ROMERO, B.C. 2006. “Análise de Localização de Plataformas Logísticas: Aplicação ao Caso do ETSP – Entrepósito Terminal São Paulo da CEAGESP”. **Dissertação de Mestrado**, Engenharia de Sistemas Logísticos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – POLI/USP, São Paulo/SP, 143p.
- ROSA, D.P. 2004a. “Plataforma Logístico-Cooperativa: Integração Horizontal das Cadeias de Abastecimento”. In: **XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**, ANPET, v.1, Florianópolis/SC, p.1147-1157.
- \_\_\_\_\_. 2004b. “O Potencial da Entrada dos Terminais de Transporte na Indústria de Serviços Logísticos”. **II Rio de Transportes**, Programa de Engenharia de Transportes – PET, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro/RJ.
- ROZENTAL, M., PIZZOLATO, N.D. 2009. “Localização de Shopping Center de vizinhança. Estudo de caso: Barra da Tijuca”. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v.1, Rio de Janeiro/R.J., p.1-9.
- SANDOVAL, M.A.L. S/D **Breve Histórico Sobre a Evolução do Planejamento Nacional de Transportes**. Coordenação de Planejamento – COPLAN, Coordenação-Geral de Planejamento e Programação de Investimentos – CGPLAN, Diretoria de Planejamento e Pesquisa – DPP, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, Ministério dos Transportes, Brasília/DF.
- SANTOS, M.; SILVEIRA, M. L. O. 2003. **Brasil: Território e Sociedade no Início do Século XXI**. Record, Rio de Janeiro/RJ.
- SANTOS, R.A., KAISER, K. 2008. **Planos Nacionais de Viação: A Integração Nacional Através do Caminho**. Disciplina de Planejamento de Estruturas Urbanas e

Regionais II, Grupo de Disciplinas de Planejamento – GDPL, Departamento de Projeto, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo/SP.

SENNE, E.L.F. ; LORENA, L.A.N., PEREIRA, M. A. 2005. “A Branch-and-Price Approach to p-Median Location Problems”. **Computers & Operations Research**, v.32, n.6, pp.1655-1664.

SEPLAG/RS – SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E GESTÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. 2005. **Estudo de Desenvolvimento Regional e Logística para o Estado do Rio Grande do Sul – Projeto RumoS 2015**. Componente 2 – Logística e Transportes, Relatório Final (junho), Porto Alegre/RS.

SERAFIM, M.C.S. 2009 **Análise das Políticas Públicas para Infraestrutura de Transporte no Brasil a Partir da Década de 90**. Monografia de Bacharelado em Ciências Econômicas. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba/SP.

SETTI, J. R., WIDMER, J. A. 1997. **Tecnologia de Transportes**. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos/SP.

SILVA, M. R. 2004. **Uma Contribuição ao Problema de Localização de Terminais de Consolidação no Transporte de Carga Parcelada**. Dissertação de Mestrado, Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – POLI/USP, São Paulo/SP.

SILVA, V.B. 2005. **Distribuição Modal Rodo-Ferroviária em uma Rede de Exportação de Açúcar a Granel para o Porto de Santos**. Dissertação Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos/SP.

SIRIKIJPANICHKUL, A., FERREIRA, L. 2005. “Multi-Objective Evaluation of Intermodal Freight Terminal Location Decisions”. In: Bunker, J.M., Dia, H. (Eds.), **27th Conference of Australian Institutes of Transport Research**, CAITR (December), Queensland University of Technology, Brisbane, pp.7-9.

SPOSITO, E.S. 2010. “Descontinuidades Territoriais das Cidades, Desconcentração e Localização da Atividade Industrial”. **XVI Encontro Nacional dos Geógrafos**, ENG 2010 (julho), Crise, Práxis e Autonomia: Espaços de Resistência e de Esperanças – Espaço de Socialização de Coletivos, Porto Alegre/RS.

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.

STERLE, C. 2009. **Location-Routing models and methods for Freight Distribution and Infomobility in City Logistics**. Tese de Doutorado, Engenharia de Computação e Automação, Università degli Studi di Napoli “Federico II”. Napoli, Itália. 216 p.

STRAUSS-WIEDER, A. 2008. **Freight Villages and Integrated Logistics Centers in the US: Opportunities for Freight Operations to Create Economic Value and Be Good Neighbors**. Europlatforms, Freight Villages Association of Forwarding, United Nations Economic Commission for Europe – UNECE, Geneva, Switzerland.

TANG, L., JIANG, W., SAHARIDIS, G. K. D. 2013. An improved benders decomposition algorithm for the logistics facility location problem with capacity expansions. **Annals of Operations Research** 213(1), 165-190.

TOYOSHIMA, S.; FERREIRA, M. J. 2002. “Encadeamentos do Setor de Transportes na Economia Brasileira”. **Planejamento e Políticas Públicas**, n.25 (jun./dez.), p.139-166.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. 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.

VASCONCELOS, A.D. 2009. **Metodologia para Localização de Terminais Concentradores em Redes de Transporte sob Gerenciamento Descentralizado**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes – PET, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ.

WARSAWSKI, A., PEER, S. 1973. “Optimising the Location of Facilities on a Building Site”. **Operations Research Quartely**, v. 24, n.1, pp.35-44.

WATERS, N.M. 1999. “Transportation GIS: GIS-T. P.A. Longley”. In: Goodchild, M.F.; Maguire, D.J. and Rhind, D.W. (eds.) **Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications**. Wiley: New York, pp. 827-844.

YANG, J., LEE, H. 1997. “A AHP Decision Model for Facility Location Selection”. **Facilities**, n.15, pp.241-254.

ZAMBON, K.L.; CARNEIRO, A.A.F.M.; SILVA, A.N.R.; NEGRI, J.C. 2005. “Análise de Decisão Multicritério na Localização de Usinas Termoelétricas Utilizando SIG”. **Pesquisa Operacional** 25 (2), Rio de Janeiro/RJ, pp.183-199.