

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARINA SOARES ALMEIDA

LOCALIZAÇÃO DE TERMINAIS INTERMODAIS NA REDE DE
ESCOAMENTO DA SOJA EM GRÃO BRASILEIRA DESTINADA À
EXPORTAÇÃO

São Carlos

2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

LOCALIZAÇÃO DE TERMINAIS INTERMODAIS NA REDE DE
ESCOAMENTO DA SOJA EM GRÃO BRASILEIRA DESTINADA À
EXPORTAÇÃO

MARINA SOARES ALMEIDA

Orientador: Prof. Reinaldo Morabito

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção (PPGEP) como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

SÃO CARLOS

2010

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

A447It

Almeida, Marina Soares.

Localização de terminais intermodais na rede de escoamento da soja em grão brasileira destinada à exportação / Marina Soares Almeida. -- São Carlos : UFSCar, 2010.

133 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

1. Pesquisa operacional. 2. Terminal intermodal. 3. Programação linear. 4. Problema de localização. I. Título.

CDD: 658.4034 (20^a)



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
Rod. Washington Luís, Km. 235 - CEP. 13565-905 - São Carlos - SP - Brasil
Fone/Fax: (016) 3351-8236 / 3351-8237 / 3351-8238 (ramal: 232)
Email : ppgep@dep.ufscar.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno(a): Marina Soares Almeida

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DEFENDIDA E APROVADA EM 02/06/2010 PELA
COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Reinaldo Morabito Neto
Orientador(a) PPGE/UFSCar

Prof. Dr. Mário Otávio Batalha
PPGE/UFSCar

Prof. Dr. Mauricio Cardoso de Souza
DEP/UFMG

Profª Drª Maristela Oliveira dos Santos
ICMC/USP

Prof. Dr. Roberto Antonio Martins
Coordenador do PPGE

AGRADECIMENTOS

Gratidão é sentimento que surge assim, do nada. É grande, preenche, faz sorrir... E é muito bom saber que eu posso escrever aqui os nomes daqueles que tornaram minha vida alegre e essa jornada sempre possível. É como se cada parágrafo fosse um abraço muito apertado, um olhar fundo nos olhos, um “muito obrigada” de todo o coração.

Meus eternos agradecimentos à minha mãe Marise, ao meu pai Lirimar e ao meu irmão Guilherme. Cada um de vocês, mainha, painho e irmão, é muito do que eu sou hoje. O meu agradecimento a vocês é por toda a vida, sempre!

Meu agradecimento a Ygor, pelo amor nos olhos e na voz. Pelo orgulho que sempre sentiu de cada uma das minhas pequenas conquistas.

Agradeço demais ao professor Reinaldo. Agradeço, professor, por cada vez que o senhor me recebeu com tanto bom humor, gentileza e paciência. O que eu aprendi sobre PO, pesquisa, dedicação à profissão e respeito ao ser humano, eu vou levar comigo pra sempre. Hoje eu tenho plena consciência do meu privilégio e espero ter feito por onde ter merecido essa oportunidade.

Aos amigos da Modelagem, Flávio, Léo e Rafael, agradeço por todos os bons momentos. Aos amigos do projeto FINEP, Rodrigo, Helena, João, Guilherme, Cleber, Kléber e Marilin, pelo comprometimento com o trabalho e pelo bom humor das reuniões. Em particular, a Bruno, por tudo isso e pela paciência e contribuição a esta pesquisa.

A Mônica do Amaral, eu agradeço não só pela amizade, mas também pela parceria nas disciplinas e pela importante colaboração com a minha pesquisa de mestrado.

Agradeço, muito, às minhas queridas amigas Larissa Araújo, Larissa Marinho e Mariana Almeida. Perto delas eu estava sempre em casa. Perto delas eu sentia o cheiro do mar.

Às minhas amigas da vida inteira Ana Mônica, Camila, Cynthia, Lorena e Renata. Essas podem estar longe, longe, mas sempre voltam pra contar a história, sempre voltam pra mais um abraço. E assim vão ficando... Pela vida inteira.

A Gilmara e Jaíra, pelo exemplo, pela fé em mim.

À minha querida amiga Ana Maria. Há tanto tempo longe, mas ela está sempre lá. Sempre comigo. Sempre feliz por mim.

Aos amigos que tornaram minha vida em São Carlos bonita, leve, feliz... Mônica e Eduardo, que agora estão pra sempre no meu coração. Deise, que eu nem sei direito como agradecer pelos conselhos, pelas risadas, pela companhia, por ter surgido na minha vida. Muito obrigada, amiga! Naja e Catarina, grandes amigas de grandes amigas. Dri, Marcel, Laura, Vitor e todos os queridos amigos corredores da R4H. Alysson.

Obrigada, equipe!! Por nada não, só por estar perto. Alyne e Elizângela, minhas amigas de DEP. Douglas, Pedro e todos do LOT/ICMC.

Ao professor Mário, amigo de Natal e de São Carlos, pelo apoio, pelos conselhos, pela torcida. E a Poliana, pela gentileza, pela disponibilidade, pelo carinho.

Aos professores Roberto Martins, Moacir Godinho, Flávio Fernandes, Marcos Arenales e Franklina Toledo, meu agradecimento pelo conhecimento transmitido nas disciplinas.

Aos professores Maurício de Souza e Mário Batalha pela contribuição dada a esta pesquisa no Exame de Qualificação e na Defesa. E a professora Maristela dos Santos, pela disponibilidade e pela contribuição dada na Defesa.

Este trabalho teve o amparo financeiro da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

RESUMO

A soja é um dos principais produtos agrícolas produzidos pelo Brasil. Em relação ao volume total de grãos produzidos, a soja corresponde à aproximadamente 44%, sendo a região Centro-Oeste a maior produtora do grão no Brasil. Por isso, a soja em grão destinada à exportação percorre, em média, grandes distâncias para chegar aos portos marítimos por onde é exportada. Os custos de transporte correspondem à cerca de 25% do custo total, influenciando de forma direta no preço do produto no mercado internacional. Para o transporte de cargas por longas distâncias, como é o caso do escoamento da soja brasileira, a intermodalidade de transporte surge como uma alternativa para tornar a movimentação da soja destinada à exportação mais econômica. O funcionamento eficiente do transporte de uma carga por mais de um modal depende não só da disponibilidade do modal em si, mas também de uma infraestrutura de apoio, como terminais intermodais. Como forma de apoiar decisões relativas ao projeto e operacionalização da rede de escoamento da soja em grão destinada à exportação, esta pesquisa propõe a utilização de um modelo de programação matemática baseado da Teoria de Localização de Instalações para localizar terminais intermodais nesta rede, levando em consideração não só a rede física, como também os fluxos de soja que são movimentados por seus vértices e arcos. Foram feitos diversos testes computacionais preliminares para verificar a adequação do modelo à realidade que se deseja representar. Diante da adequação do modelo, foram feitos novos experimentos em uma rede que representa de forma mais realista a situação atual dos fluxos de soja em grão pelo Brasil.

Palavras chaves: Terminais intermodais. Rede de escoamento de soja. Programação linear inteira. Problema de localização.

ABSTRACT

Soybean is one of the most important agricultural products grown in Brazil. Comparing to the total volume of grain produced, soybean corresponds to approximately 44% and the midwest region is the largest soybean producer in Brazil. Because of that, the soybean that goes for export, on average, have to go over large distances to reach the maritime ports from where it is exported. Transport costs represent approximately 25% of the total cost what influences directly on the product price in international market. Loading transportation over long distances, such as the Brazilian soybean flows, the intermodal transportation is an alternative to make the soybean flows for export more economical. The efficient loading transportation using more than one modal depends not only on the availability of the transport itself but also on support infrastructure, such as intermodal terminals. In order to support decisions regarding the design and operation of the network flow of soybean for export, this work proposes using a mathematical programming model based on the Theory of Facilities Location to locate intermodal terminals in the network, taking into account not only the physical network, but also flows of soybeans that are moved by its vertices and arcs. We made several computational preliminary tests to verify the adequacy of the model to the reality we want to represent. Given the adequacy of the model, new experiments were done on a network that represents more realistically the present situation of the soybean flows in Brazil.

Keywords: Intermodal terminals. Soybean network. Integer linear programming. Location problem.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1.	Processo de modelagem matemática.....	21
FIGURA 2.1.	Áreas de cultivo da soja em 1970 e em 2003.....	25
FIGURA 2.2.	Principais grão produzidos no Brasil.....	25
FIGURA 2.3.	Distribuição das plantações de soja na América.....	27
FIGURA 2.4.	Produtividade das áreas de cultivo da soja em t/há.....	28
FIGURA 2.5.	Exportações do complexo soja (milhões US\$).....	29
FIGURA 2.6.	Principais ferrovias brasileiras.....	30
FIGURA 2.7.	Mapa do escoamento da soja.....	31
FIGURA 2.8.	Caminho da soja no Brasil	32
FIGURA 3.1.	Rotas de exportação da soja.....	39
FIGURA 3.2.	Modelos de planejamento do transporte de carga.....	48
FIGURA 3.3.	Representação diagramática do modelo.....	52
FIGURA 3.4	Rotas de escoamento da soja em grão.....	60
FIGURA 3.5.	Relação custo x distância de acordo com a estratégia de Transporte.....	61
FIGURA 3.6.	Representação multiníveis das redes rodoviária e ferroviária.....	62
FIGURA 4.1.	Mapa dos centros produtores de soja.....	73
FIGURA 4.2.	Mapas com as rotas de escoamento da soja matogrossense (2000 e 2015).....	75
FIGURA 4.3.	Mapa multiníveis com os pontos considerados das redes de 2000 e 2015.....	79
FIGURA 4.4.	Custos x N° de terminais intermodais instalados em 2000.....	81

FIGURA 4.5.	Fluxos e rotas da soja para a rede 2000.....	82
FIGURA 4.6.	Fluxos com a capacidade média do Porto de Santos entre 900 e 1050 t/h.....	84
FIGURA 4.7.	Fluxos com capacidade média do Porto de Santos entre 600 e 750 t/h.....	85
FIGURA 4.8.	Sistema Ferroviário Brasileiro.....	86
FIGURA 4.9.	Fluxos com a capacidade da Ferronorte menor que 3.222.600 t/ano.....	87
FIGURA 4.10.	Fluxos com a capacidade da Ferronorte menor que 2.241.800 t/ano.....	88
FIGURA 4.11.	Custos x N° de terminais intermodais instalados em 2015.....	89
FIGURA 4.12.	Fluxos e rotas da soja para a rede 2015.....	90
FIGURA 5.1.	Representação multiníveis da Rede 1.....	94
FIGURA 5.2.	Número de terminais intermodais instalados na Rede 1 não capacitada.....	101
FIGURA 5.3.	Mapa dos fluxos de soja da Rede 1.....	103
FIGURA 5.4.	Número de terminais intermodais instalados na Rede 1 capacitada.....	104
FIGURA 5.5	Mapa dos fluxos de soja da Rede 1 capacitada nos portos.....	105
FIGURA 5.6	Representação multiníveis da rede considerando pontos nas regiões Norte e Nordeste.....	107
FIGURA 5.7	Mapa dos fluxos de soja da Rede 2.....	109
FIGURA 5.8	Mapa dos fluxos da Rede2 capacitada nos portos.....	110
FIGURA 5.9	Mapa dos fluxos de soja da Rede 2 + terminal de grãos do Porto de Vila do Conde.....	112

FIGURA 5.10	Rodovias da região central do Brasil.....	114
FIGURA 5.11	Ferrovias em projeto.....	116
FIGURA 5.12	Fluxos de soja da Rede 3.....	118
FIGURA 5.13	Fluxos de soja da Rede 3 capacitada.....	119

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1.	Maiores produtores de soja no mundo em 2005.....	26
TABELA 4.1.	Volume de soja produzido por pólo.....	74
TABELA 4.2.	Municípios produtores e candidatos a pontos de transbordo e países de destino (2000).....	77
TABELA 4.3.	Municípios produtores e candidatos a pontos de transbordo e países de destino (2015).....	78
TABELA 5.1.	Pontos de origem, destino e candidatos a terminais.....	96
TABELA A	Siglas dos municípios representados nas Redes 1, 2 e 3.....	131
TABELA B.1	Custos de frete.....	132
TABELA B.2	Custos de transbordo.....	132
TABELA B.3	Custos de embarque no porto.....	132
TABELA B.4	Fretes marítimos.....	133

SUMÁRIO

1 Introdução	17
1.1 Contexto.....	19
1.2 Objetivo.....	19
1.3 Justificativa.....	20
1.4 Método de pesquisa.....	20
1.5 Organização do texto.....	23
2 Apresentação do objeto de pesquisa	24
2.1 Importância econômica da soja.....	24
2.2 Escoamento da soja destinada à exportação.....	29
2.3 Transporte Intermodal.....	32
3 Métodos quantitativos aplicados ao contexto agroindustrial	35
3.1 Pesquisa Operacional aplicada à agroindústria.....	36
3.2 Pesquisa Operacional aplicada ao problema de escoamento da soja brasileira.....	38
3.3 Problemas de localização de instalações	46
4 Modelagem	66
4.1 Adaptações do modelo.....	66
4.2 GEIPOT.....	70
4.3 Descrição do estudo do GEIPOT	71
4.4 Testes preliminares.....	76
4.5 Resultados.....	76
4.5.1 Rede GEIPOT em 2000.....	80

4.5.2 Cenários com restrições de capacidade.....	83
a) Porto de Santos.....	83
b) Ferronorte.....	85
4.5.3 Rede GEIPOT em 2015.....	88
4.6 Adequação do modelo.....	91
5 Rede de escoamento da soja em grão brasileira.....	92
5.1 Definição da rede de escoamento da soja em grão.....	92
5.2 Definição dos dados de entrada.....	97
5.2.1 Produção.....	98
5.2.2 Demanda.....	98
5.2.3 Custos de transporte, transbordo e instalação do terminal.....	98
5.2.4 Capacidade de movimentação dos portos.....	100
5.2.5 Comentários gerais sobre os dados de entrada.....	100
5.3 Rede 1.....	100
5.3.1 Experimento com a Rede 1 sem restrições de capacidade.....	100
5.3.2 Restrições de capacidade do Porto de Santos e do Porto de Paranaguá.....	103
5.4 Rede 2.....	106
5.4.1 Experimento com a Rede 2 sem restrições de capacidade.....	108
5.4.2 Restrições de capacidade do Porto de Santos, do Porto de Santarém e do Porto de Itaqui.....	110
5.4.3 Cenário futuro – Porto de Vila do Conde.....	111
5.5 Rede 3.....	113
5.5.1 Experimento com a Rede 3 sem capacidades.....	117
5.5.2 Restrição de capacidade dos portos de Santarém, Itaqui, Santos e Itacoatiara.....	119

5.6. Comentários gerais.....	120
6 Considerações finais	121
6.1 Conclusões.....	121
6.2 Perspectivas de pesquisas futuras.....	123
REFERÊNCIAS	125
ANEXOS	131
ANEXO A	131
ANEXO B.....	132

CAPÍTULO 1 - Introdução

O Brasil sempre foi reconhecido mundialmente por ser um grande exportador de produtos agroindustriais. Entre os anos 2000 e 2007, o país presenciou o forte crescimento da economia mundial e o aumento dos preços no mercado internacional desses produtos considerados de necessidade básica. Para acompanhar esse crescimento e a boa fase do mercado, o Brasil se especializou e obteve importantes ganhos de produtividade, batendo recordes de safra de grãos como soja e café. (MDIC, 2008; EMBRAPA, 2009)

Dentre os grãos produzidos no Brasil, somente a soja corresponde a 44% dos volumes. O país tem ocupado por alguns anos a segunda posição no *ranking* dos países produtores de soja e o grão e seus derivados (farelo e óleo) representaram quase 25 bilhões de dólares em exportações para a economia do Brasil. Devido sua importância econômica, a produção e o escoamento da soja em grão brasileira e seus derivados tem sido alvo de pesquisas, tanto em órgãos do governo, quanto nas inúmeras instituições de ensino do país. (FAO, 2005; IBGE, 2007; ABIOVE, 2007)

O desenvolvimento da soja como item importante na pauta das exportações brasileiras coincidiu com a interiorização das áreas produtoras do grão. Desde a década de 1970, a maior parte da soja produzida no Brasil passou a se concentrar na região Centro-Oeste do país e, por essa razão, passou a ser preciso escoar as safras por um longo caminho até chegar aos portos. Diante dessa necessidade, o Brasil se mostrou com um sistema de transportes cheio de fragilidades, com deficiências operacionais e infraestruturais. (EMBRAPA, 2009; OJIMA, 2007)

A soja brasileira é exportada para vários países na Europa e no leste asiático, utilizando para isso o transporte marítimo. Para chegar das áreas produtoras, concentradas principalmente na região Centro-Oeste do país, aos portos, essa soja é transportada majoritariamente por rodovia, utilizando caminhões graneleiros. Apenas uma pequena parte da produção é transportada via ferrovia ou hidrovia.

Em um país como o Brasil, onde o agronegócio tem participação significativa no produto interno bruto (PIB), o transporte de carga e suas atividades de suporte têm papel fundamental na competitividade dos produtos no mercado mundial. Para os produtos agrícolas destinados à exportação, a maior parte dos custos é representada pelas atividades de movimentação interna.

A intermodalidade, isto é, a utilização de mais de um modal de transporte para movimentação de cargas, tem se mostrado vantajosa, principalmente, no transporte de cargas por grandes distâncias. Vários estudos no Brasil e em outros países já mostraram a intermodalidade como uma forma econômica e eficiente de transporte. A Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) cita algumas vantagens para o uso da intermodalidade. (ANTT, 2009)

Elas são:

- Melhor utilização da capacidade da estrutura de transporte;
- Utilização de combinações de modais de transporte mais eficientes energeticamente;
- Melhor utilização da infraestrutura para as atividades de apoio, tais como armazenagem e manuseio de materiais;
- Ganhos no processo, de uma forma geral (tempo, valores de frete).

É importante observar que as vantagens oferecidas pela prática da intermodalidade depende da infraestrutura de apoio disponível, como os terminais intermodais e os armazéns. Para que a intermodalidade realmente gere vantagens, as atividades de apoio têm que funcionar de forma eficiente e as instalações devem estar localizadas estrategicamente.

O Brasil se viu com um sistema de transportes deficiente para enfrentar o aumento dos volumes produzidos e das exportações. Diante desse cenário, nos últimos anos, a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) tem financiado projetos relacionados ao diagnóstico, análise e melhoria dos Corredores de Exportação dos produtos agroindustriais brasileiros. Para o Corredor Centro-Oeste foi criado o projeto ALOGTRANS, do qual fazem parte profissionais de algumas instituições de ensino superior no Brasil. Um dos subprojetos, denominado SIMULA, trata da modelagem e simulação da rede logística multimodal no escoamento de safras agrícolas no Corredor

Centro-Oeste com o objetivo de otimizar a movimentação dessas safras para permitir economias com transporte.

Inspirada na importância da soja em grão para o Brasil e nos objetivos do subprojeto SIMULA, esta pesquisa se propõe a estudar algumas formulações baseadas na Teoria da Localização de Instalações e aplicar uma formulação para localização ótima de terminais intermodais à rede atual de escoamento da soja em grão brasileira destinada à exportação, considerando o comportamento dos fluxos dos produtos até os portos.

1.1. Objetivo

Diante do cenário apresentado, o objetivo principal desta pesquisa é estudar e aplicar um modelo de localização de instalações, baseado em programação matemática, que incorpora decisões de fluxo para auxiliar no planejamento infraestrutural da rede de escoamento da soja em grão brasileira destinada à exportação. O modelo deve ser capaz de fornecer o melhor número e localização de terminais intermodais necessários para fazer fluir a soja brasileira destinada à exportação, além de, sob restrições de capacidade, determinar os fluxos em cada rota.

Os resultados dos experimentos feitos com o modelo, no entanto, não devem ser vistos como solução final para o problema do escoamento de produtos agrícolas no Brasil. Há muitos fatores que não são incorporados ao modelo matemático, mas que devem ser levados em consideração no momento da decisão na prática. Com os experimentos apresentados nesta dissertação, espera-se mostrar que há ferramentas quantitativas que podem ser úteis para fornecer e analisar soluções para o problema, e também evidenciar o potencial destas ferramentas para apoiar o processo de tomada de decisões neste contexto.

1.2. Justificativa

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o PIB agropecuário cresceu mais de 5% no ano de 2008. Isso aconteceu principalmente em virtude do aumento da demanda da soja brasileira no exterior, em países como a China, por exemplo, e do grande crescimento das produções de café e cana-de-açúcar. O crescimento superou o da indústria, que foi de pouco mais de 4%. Devido à importância

do setor para a economia do país, a pesquisa está sempre estimulada a gerar cada vez mais conhecimento para dar suporte à evolução do setor. (IBGE, 2009)

A nova configuração das lavouras de soja no Brasil e o aumento da importância de sua participação nas exportações do país acabaram por também ressaltar as fragilidades da infraestrutura logística disponível para escoamento da safra da soja. De uma forma geral, essas fragilidades são representadas principalmente pela má condição das rodovias, pela baixa eficiência das ferrovias e pela falta de agilidade na condução da burocracia portuária. (OJIMA, 2007)

Diante dos fatos, que mostram o contraste entre o potencial dos produtos agroindustriais para gerar riqueza para o país e o sistema de transporte ainda deficiente para a movimentação das safras e outros produtos, tem-se observado uma preocupação dos profissionais das mais diversas áreas em empreender projetos e pesquisas para o desenvolvimento do setor de transportes do Brasil. Na área dos métodos quantitativos, as aplicações de Pesquisa Operacional (PO) tem se mostrado eficazes em diversas áreas de aplicações, e os modelos matemáticos e computacionais propostos quase sempre podem ser utilizados diretamente como ferramentas de auxílio à tomada de decisão.

1.3. Método de pesquisa

A escolha do método é uma decisão que deve levar em consideração as características e os objetivos da pesquisa. Sendo assim, para atingir os objetivos propostos, esta pesquisa é conduzida segundo o método de Modelagem/Simulação. É um método onde os modelos desenvolvidos são representações de operações que acontecem na realidade. Cada modelo pressupõe variáveis ligadas por relações de causa e efeito, desenvolvidas dentro de um determinado domínio e que não podem ser alteradas pelo pesquisador. Essas variáveis podem ser físicas, como posição de inventário e taxa de utilização, ou econômicas, como contribuição ao lucro e custos. (BERTRAND e FRANSOO, 2002)

Em Engenharia de Produção, os gestores têm o processo de tomada de decisão como um constante desafio. O que se observa é que cada vez mais a PO, mais especificamente a modelagem matemática, tem se tornado eficiente na representação de processos operacionais reais e passaram a ser considerados importantes ferramentas de auxílio a esse processo. (MORABITO e PUREZA, 2009)

O processo de modelagem matemática pode ser entendido segundo a Figura 1.1, proposta por Arenales *et al.* (2007).

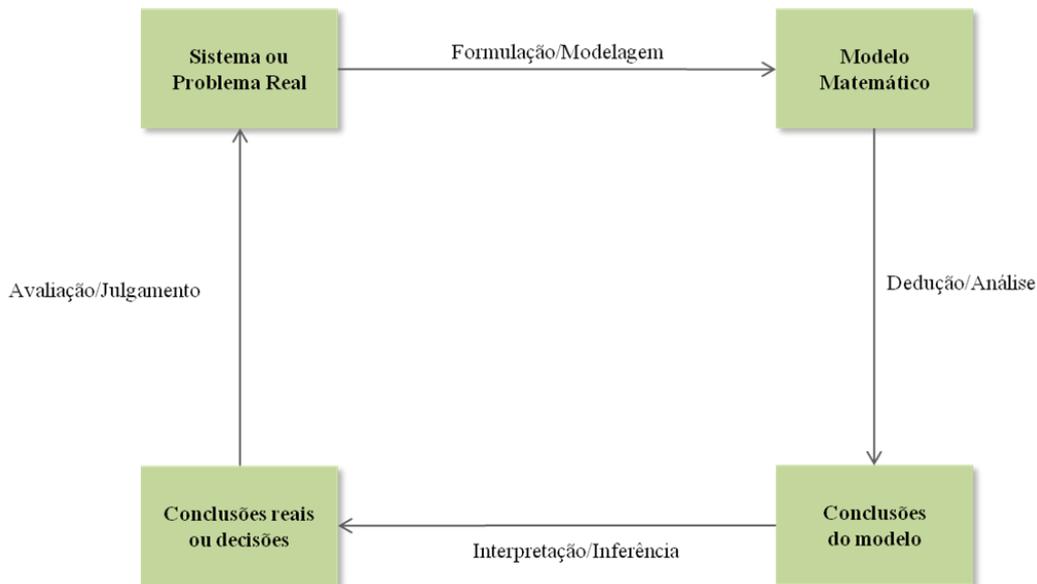


Figura 1.1: Processo de Modelagem Matemática

Fonte: Arenales *et al.* (2007)

Os estudos de PO, no geral, seguem etapas características. Na literatura, há variações quanto à denominação e ao número de etapas. Segundo Hillier e Lieberman (2006), há uma série de seis etapas usuais, sugeridas para serem utilizadas por equipes de PO para enfrentar problemas reais.

1. Definir o problema de interesse e coletar dados.
2. Formular um modelo matemático para representar o problema.
3. Desenvolver um procedimento computacional a fim de derivar soluções para o problema a partir do modelo.
4. Testar o modelo e aprimorá-lo conforme necessário.
5. Preparar para a aplicação contínua do modelo conforme prescrito pela gerência.
6. Implementar.

Esta pesquisa de mestrado foi desenvolvida segundo cinco etapas, baseadas nas anteriormente mencionadas. As etapas estão detalhadas a seguir:

Identificação do objeto de pesquisa

O objeto de pesquisa foi identificado com base na importância da soja para a economia do Brasil, verificada por meio de informações disponibilizadas,

principalmente, pelo IBGE, pela EMBRAPA, pela ABIOVE e pelos Ministérios do Transporte e de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Os objetivos dos projetos financiados pela FINEP e, em especial, os do subprojeto SIMULA, também colaboraram com esse processo de identificação.

Revisão da literatura relacionada

Foi feita uma breve revisão dos trabalhos relacionados às aplicações de métodos quantitativos na agroindústria e, mais especificamente, ao escoamento da safra da soja pelo sistema de transportes brasileiro. Como este trabalho se restringiu a utilizar uma formulação para localização de instalações, foram destinadas algumas seções para caracterizar o problema segundo alguns autores clássicos da literatura e para apresentar aplicações de modelos em situações diferentes, incluindo o contexto agroindustrial. Dentre os trabalhos visitados, o de Arnold *et al.* (2004) teve um papel importante para o presente estudo e foi escolhido como artigo-âncora para esta pesquisa.

Testes iniciais

A formulação proposta por Arnold *et al.* (2004) foi modificada para representar de forma mais adequada a realidade do sistema da soja brasileira. Diversos testes e experimentos foram realizados para se verificar essa adequação ao presente estudo. Como pode ser observado, a escolha do trabalho de Arnold *et al.* (2004) como artigo-âncora para esta pesquisa, que se encontra na fase 2, está atrelada à esta fase, visto que os primeiros testes verificaram a adequação da formulação. Os testes foram realizados utilizando-se o *software* livre de otimização GNU GLPK e a linguagem de modelagem AMPL (FOURER *et al.*, 2002) com o *solver* CPLEX.

Aplicação do modelo à rede do escoamento da soja brasileira

Verificada a sua adequação, o modelo foi aplicado à rede de escoamento da soja brasileira, contendo os principais estados produtores e movimentadores de safras, bem como os principais portos exportadores.

Registro da pesquisa

Esta fase corresponde à compilação da dissertação, resultado final da pesquisa e que foi sendo feita em paralelo a todas as fases anteriores.

1.4. Organização do texto

O capítulo 2 é dedicado a apresentar com detalhes o objeto desta pesquisa. As seções são escritas de modo a mostrar um pouco da história da soja no Brasil e alguns aspectos econômicos relevantes que levaram o grão a ser alvo de pesquisas em diversas áreas. Sabendo que grande parte da soja produzida no Brasil é destinada à exportação e que há grandes distâncias a serem percorridas das áreas produtoras até os portos marítimos, também é interesse deste capítulo mostrar como o escoamento da soja acontece e como a intermodalidade surge como uma oportunidade para garantir a eficiência do transporte do grão de uma forma, no geral, mais econômica.

O capítulo 3 tem como objetivo revisar parte da literatura relacionada às aplicações da PO na agroindústria e, mais especificamente, no escoamento da soja brasileira que é destinada à exportação, e aos modelos de localização de instalações, foco deste trabalho. São apresentados alguns trabalhos importantes para os objetivos desta pesquisa, além de conceitos e considerações de alguns autores da literatura clássica desses problemas.

O quarto capítulo é destinado a descrever o modelo utilizado, dando ênfase às modificações feitas no modelo original, e à apresentação dos primeiros testes computacionais com esse modelo. Esses testes tiveram o objetivo de verificar a adequação do modelo à realidade que se desejava representar.

O quinto capítulo refere-se à aplicação do modelo em um cenário mais realista para os dias atuais, considerando os principais estados brasileiros produtores e movimentadores de soja. A pretensão não é solucionar o problema do sistema de transportes do Brasil, mas mostrar, por meio da geração de cenários, os impactos da intermodalidade e de uma rede de transportes mais interconectada diante, principalmente, de mudanças nas ofertas, demandas e capacidades das instalações.

O sexto e último capítulo refere-se às conclusões deste trabalho e discussão de perspectivas interessantes para pesquisas futuras.

CAPÍTULO 2 - Apresentação do objeto de pesquisa

2.1. Importância econômica da soja

A soja foi primeiramente cultivada na China, por volta dos anos 2000 AC, e tinha pouco ou nenhum valor econômico. Foi introduzida na Europa no século XV, mas apenas para compor jardins de países como Inglaterra, França e Alemanha. Foi somente no século XX que o teor de óleo e proteína do grão começou a despertar o interesse da indústria mundial. (EMBRAPA, 2009)

No Brasil, a soja só foi introduzida por volta dos primeiros anos da década de 60, na região Sul do país, como cultura de verão em sucessão ao trigo, que era a principal cultura na época. Já em meados da década de 60, o cultivo de soja assumiu uma posição estratégica. Com o surgimento das criações de suínos e aves, o Brasil passou a ter uma grande demanda por farelo de soja.

Com o passar dos anos, o cultivo da soja foi se deslocando da região Sul para as regiões Centro-Oeste, Sudeste e, mais recentemente, para a região Norte do Brasil. No mapa da Figura 2.1, é possível observar esse deslocamento. A área amarela representa o cultivo em 1970 e a laranja em 2003.

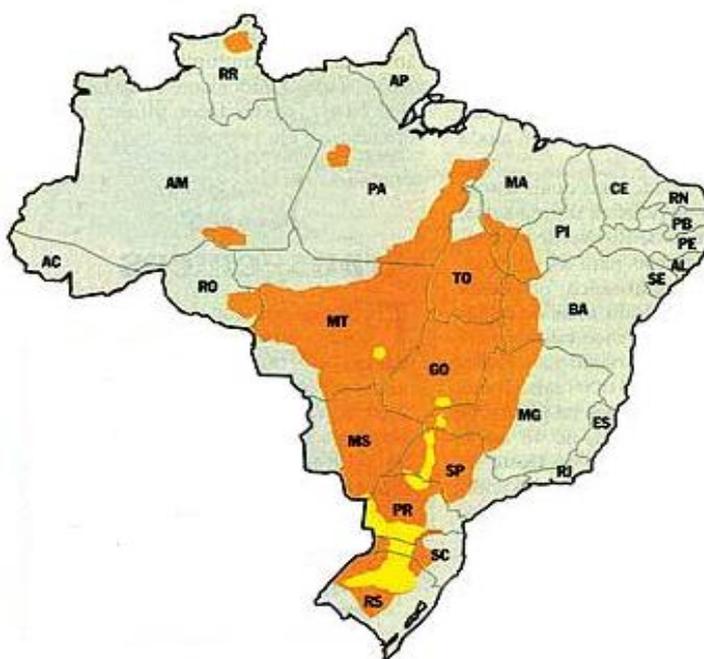


Figura 2.1: Áreas de cultivo da soja em 1970 e 2003

Fonte: Amaral (2003)

Hoje a soja é o principal grão cultivado no Brasil. Em termos de volume produzido, a soja foi responsável por 44% da produção nacional de grãos no ano de 2007 (IBGE, 2008). No gráfico da Figura 2.2 pode-se observar a predominância das produções de soja e milho em relação às demais.

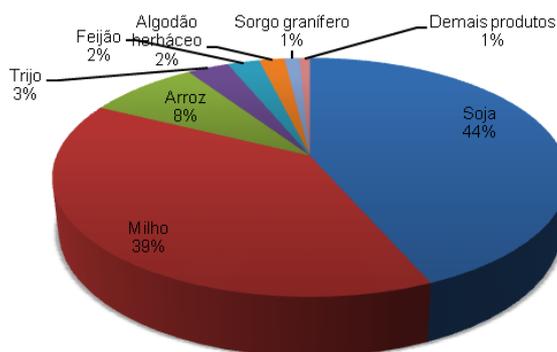


Figura 2.2: Principais grãos produzidos no Brasil

Fonte: IBGE (2008)

O Brasil ocupa hoje a segunda posição no *ranking* dos maiores produtores mundiais de soja, ficando atrás somente dos Estados Unidos. Na safra de 2008/2009, produziu aproximadamente 50 milhões de toneladas, numa área de 21

milhões de hectares plantados. Desse volume total, quase 18 milhões de toneladas, mais de 30% do total, foram produzidos pelo estado do Mato Grosso.

Na Tabela 2.1 está o *ranking* dos maiores produtores de soja no mundo, no ano de 2005.

País	Produção (milhões de toneladas)
EUA	83,4
Brasil	51,2
Argentina	38,3
China	16,8
Índia	6,3
Paraguai	4,0
Canadá	3,2
Bolívia	1,7

Tabela 2.1: Maiores produtores de soja no mundo em 2005

Fonte: FAO (2009)

A China, que já foi o maior produtor mundial de soja, ocupa a quarta posição no *ranking* e produz o equivalente a 1/5 da produção americana. Participa fortemente do mercado como importador, tanto da soja americana quanto da brasileira. Segundo Silveira (2005), a China aumentou seu parque industrial destinado ao esmagamento da soja em grão pra suprir a demanda por óleo de soja comestível. Ainda que tenha aumentando bastante a sua produtividade nos campos, a China ainda precisa importar boa parte da soja necessária para abastecer o país com o óleo que demanda.

No mapa da Figura 2.3, é possível ver onde está localizada a maior parte das plantações de soja nos EUA, no Brasil e na Argentina, que são os três maiores produtores mundiais.

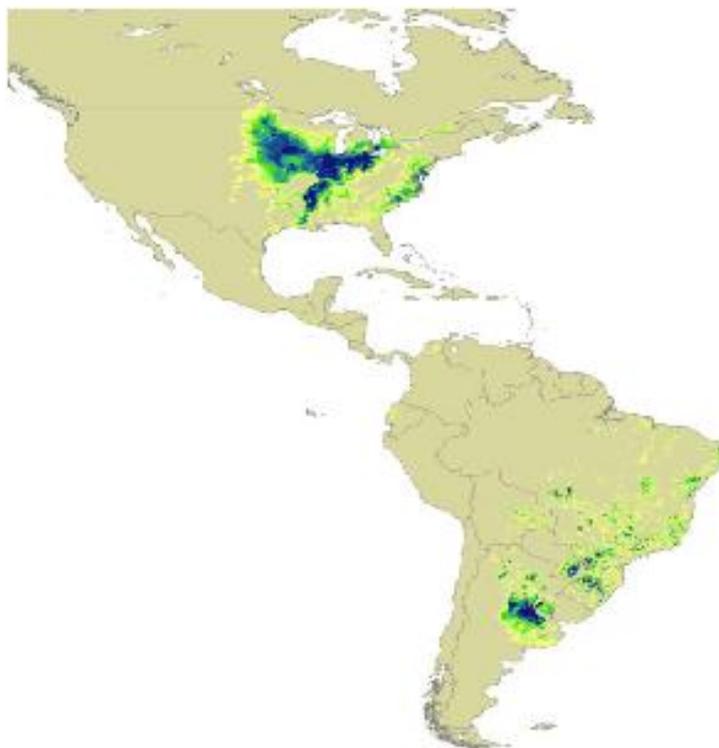


Figura 2.3: Distribuição das plantações de soja na América

Fonte: Mongabay (2009)

No Brasil, de forma mais específica, a produção de soja está concentrada na região Centro-Oeste do país. Como já foi dito e é possível ver no mapa da Figura 2.4, o estado do Mato Grosso é o maior produtor nacional do grão. Somente o município de Sorriso, localizado na região Centro-Norte do estado, foi responsável, no ano de 2007, por 2,5 milhões de toneladas. Quase 70% da área plantada do município são destinadas ao cultivo da soja. (IBGE, 2009)

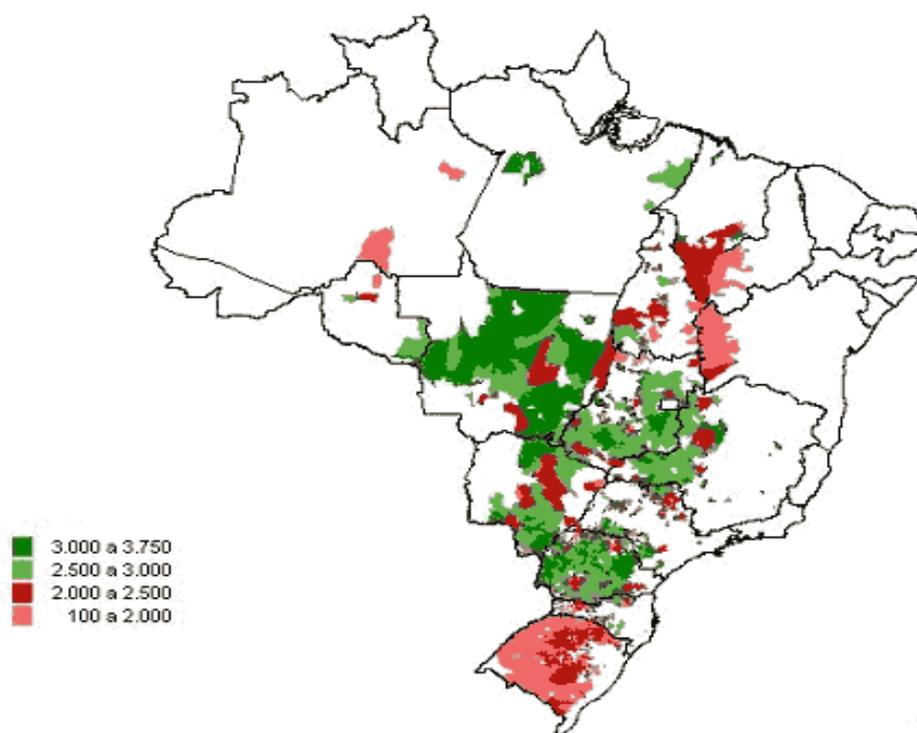


Figura 2.4: Produtividade das áreas de cultivo da soja em t/ha

Fonte: IBGE (2009)

Grande parte da soja produzida no Brasil é destinada à exportação. Segundo dados da ABIOVE, em 2008, o complexo da soja (grão, farelo e óleo) foi responsável pela movimentação de quase 25 bilhões de dólares em exportações. Da produção total de soja em grão do Brasil, que neste mesmo ano atingiu os 59 milhões de toneladas, aproximadamente 40% foi destinada à exportação. No caso do farelo de soja, esse percentual foi ainda maior, atingindo uma média de 59% de sua produção. No gráfico da Figura 2.5, é possível observar que desde 1992, os valores (milhões US\$) das exportações do complexo da soja vêm aumentando.

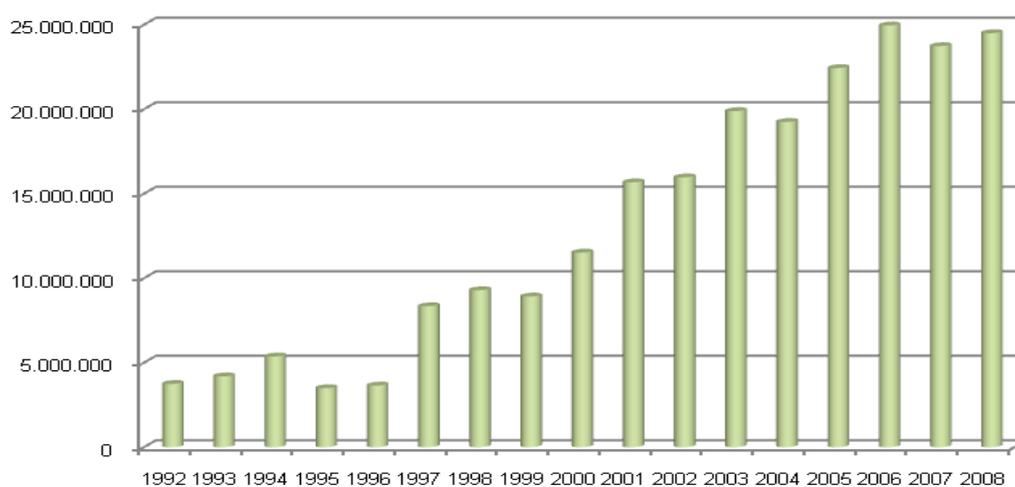


Figura 2.5: Exportações do complexo da soja (milhões US\$)

Fonte: ABIOVE (2008)

2.2. Escoamento da soja destinada à exportação

A interiorização da produção da soja brasileira aconteceu em paralelo com o aumento das exportações do produto e de seus derivados. Um volume cada vez maior do grão produzido em sua maioria na região Centro-Oeste do país passou a ser escoado para os portos marítimos operadores de grãos. Por essa razão, ao longo dos anos o Brasil vem enfrentando o desafio de transportar safras inteiras do interior do país para o litoral.

Produtos como a soja, isto é, graneis sólidos, são movimentados, geralmente, por meio dos modais rodoviário, ferroviário ou hidroviário. A escolha vai depender tanto das distâncias a serem percorridas e dos volumes a serem transportados, quanto da infraestrutura disponível para o transporte na região. Existem ainda outros modais utilizados para movimentação de produtos, como o dutoviário e o aéreo, mas suas utilizações não se aplicam nesta pesquisa.

No geral, a soja produzida no Brasil é escoada por rodovia. Cerca de 70% da soja exportada via Porto de Santos são recebidos no terminal por rodovias. Como é possível ver no mapa da Figura 2.6, que mostra a localização das principais ferrovias, a região Centro-Oeste não está conectada pela malha ferroviária. De acordo com o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), algumas das rodovias da região têm tráfego intenso de caminhões grandes, trechos com sinalização deficiente e má condição do asfalto e estão passando por reformas. (FAEP, 2009)

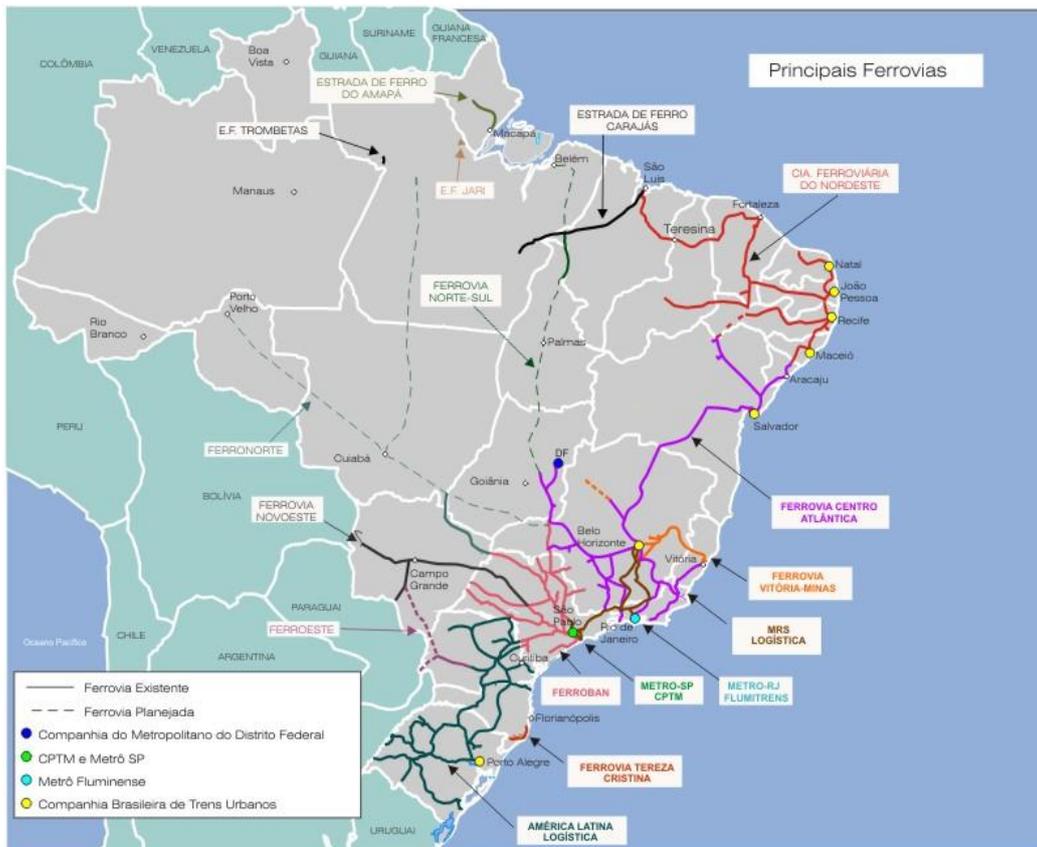


Figura 2.6: Principais ferrovias brasileiras

Fonte: Ministério dos Transportes

Em outro mapa (Figura 2.7), é possível ver as principais rotas da soja em grão produzida na região Centro-Oeste destinada à exportação. Os portos de Santos – SP, Paranaguá – PR, Santarém – PA e Itaqui – MA são os mais utilizados. O acesso até eles acontece, em sua maioria, por rodovia. A BR-163 tem uma grande movimentação de carga, visto que passa pelos municípios de Sorriso e Sinop, grandes produtores nacionais de soja. (DNIT, 2009).

Rio Grande do Sul, tem grande demanda de farelo de soja, visto que é um componente importante para a ração dos animais. (LOPES e CAIXETA-FILHO, 2000)

A Figura 2.8 mostra, de forma simplificada, o caminho que a soja toma desde que sai da fazenda até os portos por onde é exportada.



Figura 2.8: Caminho da soja no Brasil

A maior parte da soja brasileira, incluindo grão, farelo e óleo, é exportada para países do leste asiático e países do continente europeu. Segundo informações da SECEX (Secretaria de Comércio Exterior), esta exportação é principalmente para Holanda, Alemanha, Espanha, China e Japão (SECEX, 2009). Os produtos agrícolas destinados a exportação tendem a formar rotas de escoamento que, no princípio, correspondem simplesmente à menor distância a ser percorrida dos pontos de origem aos seus destinos. Com o passar dos anos, essas rotas vão se tornando mais bem estruturadas e passam a se diferenciar de acordo com as vantagens econômicas e infraestruturais oferecidas. A decisão de qual rota tomar para escoar a safra, por essa razão, passa a constar no planejamento estratégico dos grandes produtores e/ou operadores de cargas agrícolas.

2.3. Transporte Intermodal

O transporte intermodal pode ser definido como o movimento de cargas entre uma origem e um destino utilizando-se de, pelo menos, dois modais de transporte diferentes (CHANG, 2008). Para Macharis e Bontekoning (2004), deve-se acrescentar a essa definição que as distâncias percorridas por rodovias devam ser as menores possíveis e que, para cargas containerizadas, não ocorram trocas de contêiner ao longo

da rota. Para a realidade brasileira, o mais adequado é considerar a intermodalidade apenas como o transporte de cargas feito por meio de dois ou mais modais, visto que não há padronização de contêineres e dos meios de transporte utilizados.

Quando a intermodalidade, ou seja, a utilização de mais de um modal para transporte de uma carga de sua origem ao seu destino final, acontece sob o regimento de um único contrato assinado com um Operador de Transporte Multimodal (OTM), ela passa a ser denominada multimodalidade. O Transporte Multimodal no Brasil foi definido por meio da Lei n 9.611, de 1998. O termo “intermodal” não é reconhecido pela Lei brasileira, mas é mais amplamente utilizado pela comunidade internacional. Por essa razão, ao longo do texto, a utilização de mais de um modal de transporte é tratada como intermodalidade e não multimodalidade. (ANTT, 2009)

Hirsch (2001) desenvolveu uma pesquisa para comparar os custos da soja produzida nos Estados Unidos e no Brasil, incluindo os custos com transporte, já que o foco foi a soja destinada à exportação. Concluiu-se que o custo por hectare da soja plantada na região de Sorriso chega a ser 62% menor do que o hectare plantado na região do Illinois, EUA. A vantagem se repete quando se fala em produtividade. A produtividade brasileira chega a ser 60% maior do que a americana. É importante ressaltar que o referencial brasileiro é o estado do Mato Grosso, que concentra grande parte da produção da soja nacional e conta, como já mostrado na Figura 2.4, com a melhor produtividade do Brasil.

Tomando como base esses percentuais, a soja brasileira deveria ser muito mais competitiva no mercado internacional do que a americana. No entanto, essa mesma pesquisa identifica que o Brasil apresenta uma forte desvantagem em relação aos EUA quando o assunto é transporte. Além dos altos custos para levar a soja produzida na região Centro-Oeste para os principais portos exportadores de grão, Santos e Paranaguá, há também a desvantagem do frete pago entre Brasil e Rotterdam e EUA e Rotterdam, por exemplo. Capacle e Ramos (2008) dizem que 25% da receita de vendas da produção da soja são destinadas a cobrir custos com transporte.

A intermodalidade vem sendo vista como uma forma de garantir maior eficiência no transporte de carga e de promover uma importante redução nos custos logísticos totais. Chang (2008) afirma que a intermodalidade é reconhecida mundialmente como capaz de promover essa redução e apresenta vantagens principalmente quando os pontos de produção e consumo se encontram geograficamente

muito dispersos, como nos casos dos fluxos de produtos para exportação (GOETZ e RODRIGUE, 1999).

Ojima (2007) descreveu a logística de soja no Brasil e concluiu que, considerando que o cultivo da soja migrou para o interior do país, é vital uma melhoria na estrutura logística disponível para o escoamento dessa produção. Comentou ainda da necessidade dos envolvidos no escoamento/exportação da soja atuarem de forma integrada, a fim de reduzir os custos logísticos totais. Por fim, esclareceu que essa melhoria deve vir por meio da intermodalidade de transportes e que apenas a malha viária não é suficiente; é preciso planejamento para uma infraestrutura complementar, como armazéns e terminais intermodais.

Macharis & Bontekoning (2004) formalizaram algumas classes de problemas quantitativos, definidos de acordo com o ponto de vista do tomador de decisões: (i) as operações com caminhões, voltadas às atividades de coleta e entrega de carga, entre os terminais intermodais e os produtores ou clientes finais; (ii) as operações intermodais, cujo foco é otimizar os fluxos internos aos terminais intermodais; (iii) as operações de infraestrutura de rede, que têm por objetivo planejar mudanças físicas e prever seus impactos nos fluxos do sistema; (iv) as operações de roteirização, que buscam a minimização dos custos de transporte, considerando somente a estrutura física já existente. Como o objetivo dessa pesquisa é fazer uso da Teoria da Localização de Instalações para analisar fluxos em redes de transporte intermodal para escoamento da safra de soja, pode-se dizer que o presente trabalho se encaixa no terceiro grupo de problemas acima.

CAPÍTULO 3 - Métodos quantitativos aplicados ao contexto agroindustrial

O surgimento do termo Pesquisa Operacional (PO) data de 1934, na Inglaterra, com a invenção do radar. Um pouco mais tarde, durante a II Guerra Mundial, a PO passou a ser utilizada na solução de vários problemas, como o controle de artilharia antiaérea e o dimensionamento de comboios de frota. Com o fim da guerra, a PO adquiriu novas aplicações em problemas dos setores público e privado e, posteriormente, de forma mais específica, se tornou importante nos meios industrial e financeiro.

Na PO, os fenômenos (naturais, sociais, econômicos, etc) são representados por meio de modelos matemáticos e de simulação. Na maioria das vezes, são feitas algumas simplificações para formulação dos problemas. Por isso, é importante a validação do modelo para que se verifique se tais simplificações influenciaram negativamente na representação do problema. Alguns exemplos de aplicação da PO no setor industrial são: problema de mistura de componentes para formação de um produto final (ração animal, por exemplo), problemas de transporte e transbordo, problemas de localização de instalações, problemas de planejamento da produção, problemas de corte e empacotamento, dentre outros. (HILLIER E LIEBERMAN, 2006; ARENALES *et al.*, 2007)

Na agroindústria é possível observar um crescimento na utilização de modelos matemáticos como ferramenta de auxílio à tomada de decisão. No Brasil, há diversos estudos que corroboram com essa afirmação. Por exemplo, Lopes e Caixeta Filho (2000), Oliveira (2005a), Ferrari (2006) e Xavier (2008), que se preocuparam com problemas de localização de instalações em sistemas agroindustriais. Bulhões e Caixeta Filho (2000) e Ojima (2004), que analisaram a distribuição logística da soja no Brasil por meio do modelo de equilíbrio espacial. Paiva (2005, 2009), Junqueira e Morabito

(2006), Paiva e Morabito (2008), Carvalho e Santoro (2008) e Munhoz (2009), que trabalharam com foco nos problemas de planejamento da produção de suco de laranja, sementes de milho, açúcar e álcool sob os diferentes níveis hierárquicos de planejamento (estratégico, tático e operacional).

Este capítulo é destinado a mostrar exemplos de aplicações de métodos quantitativos em problemas da agroindústria, revisando alguns trabalhos considerados relevantes e dando ênfase aos trabalhos que tratam de modelos de localização de instalações, que é foco desta pesquisa.

3.1. Exemplos de PO aplicada à agroindústria

A utilização de métodos quantitativos para auxílio à tomada de decisão dentro das empresas agroindustriais vem se tornando cada vez mais freqüente e eficaz. Fernandes e Cezar (2005), por exemplo, utilizaram o clássico modelo de transportes (a seguir) para analisar os fluxos de arroz das áreas produtoras às plantas industriais na região do município de Sinop, no Mato Grosso.

Munhoz e Morabito (2001) propuseram um modelo baseado em programação linear e programação por metas para apoiar decisões no processo de mistura e na distribuição de suco concentrado congelado de laranja. Foi diagnosticada, por meio de um estudo de caso em uma empresa produtora de suco de laranja do estado de São Paulo, a importância das decisões do processo de mistura para a definição do plano de movimentação, embarque e estocagem do produto.

Iannoni e Morabito (2002, 2006) utilizaram a simulação discreta para analisar o sistema logístico de recepção de cana-de-açúcar. Partiram do princípio de que a melhoria na eficiência operacional de usinas de açúcar está ligada de forma direta à melhoria da eficiência dos sistemas logísticos que fazem parte da atividade da usina. Foi feito um estudo de caso em uma usina do estado de São Paulo e, em virtude das diversas fontes de incertezas e da complexidade operacional do sistema, a simulação discreta foi a base para a definição do método mais adequado para representar o problema.

Baio *et al.* (2004) utilizaram um modelo matemático para auxiliar na seleção de pulverizadores agrícolas. Para o estudo, os autores levaram em consideração 20 modelos de pulverizadores e se basearam no menor custo de utilização de cada um. Por fim, foi feita uma análise de sensibilidade para identificar quais componentes do custo operacional mais interferiram no custo de utilização total dos equipamentos.

Paiva (2005, 2009) e Paiva e Morabito (2008) desenvolveram um modelo de planejamento agregado da produção em uma usina de açúcar e álcool. O objetivo foi tomar como base modelos clássicos de seleção de processos e dimensionamento de lotes para representar o sistema de produção da usina e, assim, tomar decisões para o horizonte de tempo de uma semana dentro dos meses de safra.

Junqueira e Morabito (2006) utilizaram modelos de programação linear para realizar o planejamento tático das unidades beneficiadoras de sementes de milho, envolvendo decisões de produção, estocagem e transporte. O objetivo era minimizar os custos de produção, transporte e fiscais, levando em consideração as restrições de programação da colheita, de capacidade e de demanda.

Carvalho e Santoro (2008) propuseram, por meio de programação matemática, um plano de programação da produção e comercialização de produtos numa usina de açúcar e álcool. O objetivo foi estabelecer o melhor mix de álcool anidro, álcool hidratado e açúcar, considerando restrições de estoque, fluxo de caixa e de contratos firmados.

Gonçalves e Widmer (2008) se propuseram a determinar as rotas mais econômicas para o escoamento da soja e dos minérios de ferro e manganês que saem do estado do Mato Grosso do Sul com destino à exportação. Para isso, os autores identificaram os pólos fornecedores desses produtos no estado e fizeram uso de modelos matemáticos para determinação dos custos de transporte e de um sistema de informação geográfica, gerando cenários futuros.

Milan (2008) fez uso da modelagem matemática para representar a realidade da produção de cafés finos. Considerando que o tipo de café depende diretamente da forma como o grão é plantado, colhido e manuseado após a colheita, o modelo é multiobjetivo e visa auxiliar na tomada de decisões de planejamento da produção, programação do seqüenciamento de colheita das lavouras e determinação do volume ótimo de produção de cafés finos.

Munhoz (2009) desenvolveu um modelo de programação linear para apoiar decisões no processo de planejamento agregado da produção de suco de laranja concentrado congelado. A formulação considerou as curva de maturação da laranja e incorporou especificações do produto final, como o *ratio*, importante para o produto no mercado internacional. Também foi estudada uma formulação com base nos conceitos da Otimização Robusta, isto é, considerando incerteza em alguns parâmetros. Foi

realizado um estudo de caso em uma empresa produtora de suco de laranja do estado de São Paulo e os resultados mostraram que as formulações podem ser utilizadas em situações reais.

Silva Neto e Caixeta Filho (2009) estudaram as possibilidades de escoamento dos produtos destinados à exportação produzidos em um frigorífico situado em Campo Grande-MS. Para isso, os autores aplicaram um modelo matemático para decidir, segundo o menor custo, qual a melhor dentre as opções analisadas. Três alternativas foram investigadas, 2 que levavam a carga para o Porto de Santos e 1 para o Porto do Guarujá.

3.2. Exemplos da PO aplicada ao problema do escoamento da soja brasileira

O capítulo 2, dedicado a descrever o objeto desta pesquisa, discutiu brevemente a importância da soja para a economia do Brasil. Como já foi dito, grande parte da soja que é produzida e processada no país é destinada à exportação e, obrigatoriamente, tem que percorrer um longo caminho desde as grandes áreas produtoras até os portos. Esta seção é destinada a apresentar algumas aplicações de PO especificamente a esse contexto, para revisar as colaborações da literatura para a melhoria da eficiência do escoamento da soja pelo Brasil.

Bulhões e Caixeta-Filho (2000) utilizaram um modelo de equilíbrio espacial para fazer uma análise da distribuição logística da soja na região Centro-Sul do Brasil. Como a soja é produzida muito longe da sua demanda, os custos de transporte acabam sendo os grandes responsáveis pela enorme diferença entre o preço da soja nas áreas produtoras e nas áreas de demanda.

A utilização do modelo de equilíbrio espacial classifica produtores e consumidores em regiões espacialmente separadas, cujo relacionamento entre preço e fluxo de produto é determinado pelo custo de transferência, em regiões de oferta e regiões exportadoras. O modelo de programação não-linear utilizou como base de dados o estudo do GEIPOT (Grupo de Estudos para Integração da Política de Transportes), de 1997, e o Guia Rodoviário Quatro Rodas (1997), e foi executado na linguagem de modelagem GAMS (*General Algebraic Modeling System*).

O estudo concluiu que a movimentação de soja no Brasil tem acontecido de forma desordenada, tanto para a soja destinada à exportação quanto para a soja destinada à unidade processadora. Identificou os estados do Paraná e do Mato Grosso

do Sul como estados em que a oferta está em equilíbrio com a demanda. Goiás, Minas Gerais, Santa Catarina e Mato Grosso foram considerados exportadores, isto é, com oferta maior do que a demanda. Por fim, o estado de São Paulo foi identificado como importador de soja.

Ojima (2004) também aplicou o modelo econômico de equilíbrio espacial no complexo da soja e obteve resultados parecidos para as áreas comuns aos dois estudos. A Figura 3.1 mostra a área de atuação da pesquisa da autora, um pouco maior do que a de Bulhões e Caixeta-Filho (2000)



Figura 3.1: Rotas de exportação de soja

Fonte: Ojima (2004)

Ao concluir o trabalho, a autora fala da importância dos investimentos no setor de transportes e ressalta que devem ser em prol da intermodalidade, visto que é preciso aproveitar melhor as vantagens que cada modal pode oferecer. Os modais de transporte apresentam uma interdependência que torna o sistema como um todo ineficiente. As concentrações de rodovias, ferrovias e hidrovias estão em diferentes localizações no país e são poucos conectadas, o que resulta nessa interdependência e tem provocado a ineficiência de que se tem falado.

Coeli (2004) desenvolveu um estudo que teve como objetivo principal identificar a demanda potencial da soja em grão e do farelo de soja produzidos no Brasil por transporte ferroviário. A autora utilizou a ferrovia Ferronorte como foco da análise, afirmando que esta se configurava como parte da principal rota de escoamento da produção de soja da região Centro-Oeste naquele ano.

A pesquisa foi desenvolvida segundo os seguintes passos:

1. Identificação da área de influência da ferrovia;
2. Identificação das alternativas de escoamento do produto;
3. Cálculo de previsões das produções de soja em grão e farelo de soja, com dados da ABIOVE (Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais) e por meio da análise de séries temporais;
4. Análise de sensibilidade em duas frentes:
 - a. Variação da demanda da ferrovia em função da ampliação do seu traçado
 - b. Variação da demanda da ferrovia em função de alterações nos valores dos fretes de cada modal de transporte.

A autora afirmou, ao final da pesquisa, que há uma demanda em potencial por transporte ferroviário na área de influência da Ferronorte. No entanto, deixou claro que o estudo não deve ser conclusivo e que a interpretação não deve ser a de que é vantajoso aumentar a capacidade de escoamento da ferrovia. No trabalho, a autora lembrou que o transporte ferroviário implica altos custos de instalação e que para conclusões acerca do possível aumento de capacidade, é preciso um estudo mais aprofundado dos custos totais de investimento e operação.

Na última etapa do trabalho, que corresponde à análise de sensibilidade dessa demanda em função tanto da ampliação do traçado da ferrovia quanto das alterações dos valores de frete dos modais de transporte, a autora faz uso da informação de que a Ferronorte é uma ferrovia em expansão e que deve aumentar sua área de influência. Como era esperado, a demanda é sensível à expansão da ferrovia, aumentando na medida em que o traçado atinge outras áreas. Se o custo do transporte rodoviário aumentar em 10%, por exemplo, a demanda aumenta em mais de 10%.

O trabalho de Ojima (2007) se propôs a desenvolver um modelo origem-destino que determinasse a melhor forma de escoar a soja produzida em 23 municípios

do estado do Mato Grosso. Nesse estudo, a autora também se preocupou em mostrar as deficiências infraestruturais existentes no interior do país e como isso era determinante para que a intermodalidade fosse de fato vantajosa.

Foram avaliados três cenários: (1) os fluxos dos 23 municípios sendo escoados apenas por meio do modal rodoviário e com destino aos porto de Santos (SP), Paranaguá (PR) e São Francisco do Sul (SC), (2) a mesma situação do cenário 1, mais a rota rodoviária até o porto de Santarém (PA), (3) rotas intermodais com destino aos portos de Santos (SP), Paranaguá (PR), São Francisco do Sul (SC), Santarém (PA) e Vitória (ES).

Para o primeiro cenário, a autora utilizou a formulação clássica do problema de transportes.

Parâmetros:

m = número de municípios origem

n = número de portos de destinos

C_{ij} = custo de transporte entre o município de origem i e o porto de destino j

O_i = quantidade ofertada pelo município de origem i

D_j = quantidade demandada pelo porto de destino j

Variável:

X_{ij} = quantidade de soja transportada entre o município de origem i e o porto de destino j

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (3.1)$$

sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \geq O_i, \quad \forall i \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq D_j, \quad \forall j \quad (3.3)$$

$$X_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j \quad (3.4)$$

Onde:

$$C_{ij} = F_{ij} + P_j \quad (3.5)$$

Sendo:

F_{ij} = custo de frete entre o município de origem i e o porto de destino j

P_j = custo portuário do porto j

O modelo conta com a função objetivo (3.1) de minimização de custos (transporte + embarque no porto) e dois conjuntos de restrições: o primeiro (3.2) garantindo que pelo menos a oferta deverá sair dos pontos de origem e o segundo (3.3) garantindo que serão transportados, no máximo, os volumes necessários para atender à demanda.

Nos primeiros resultados, a soja foi totalmente exportada via porto de Santos (SP). Isso acontece porque a tomada de decisão é baseada apenas no custo de frete, que leva em consideração a distância a ser percorrida, e no custo de embarque nos portos, desconsiderando restrições como as de capacidade.

No segundo cenário, quando uma nova opção de rota é inserida, para o porto de Santarém (PA), mais de 70% da produção é exportada por essa rota, já que para os municípios do norte do estado, essa é a menor distância a ser percorrida, refletindo em valores menores de frete para a maior parte da soja que precisa ser escoada.

No terceiro cenário, além da distância a ser percorrida, há também a diferenciação entre os fretes rodoviário, ferroviário e hidroviário como questão a ser levada em consideração. Para isso, a autora utiliza a mesma formulação dos outros dois cenários, alterando apenas a composição do custo C_{ij} , que passa a ser:

$$C_{ij} = CR + CM + T + P_j \quad (3.6)$$

Sendo:

CR = custo do frete rodoviário entre o município de origem i e o terminal ferroviário ou hidroviário j

CM = custo do frete entre o terminal ferroviário ou hidroviário i e o porto de destino j

T = custo de transbordo de modal rodoviário para o modal ferroviário ou hidroviário

P_j = custo portuário do porto de destino j

A formulação proposta pela autora para auxiliar à tomada de decisão no escoamento da soja brasileira deixa de contemplar algumas questões importantes e inerentes ao sistema de transporte da soja. Uma delas é a consideração das capacidades de portos, terminais e vias, principalmente as ferroviárias e hidroviárias. Ao deixar de

considerar capacidades, a formulação permite que todo o fluxo da soja brasileira percorra a mesma rota, isto é, a rota mais econômica. O que acontece na realidade é que os caminhos mais econômicos ficam congestionados e os produtores/operadores de carga têm que buscar alternativas para o transporte de seus produtos.

Os resultados deste trabalho sugerem que fazer uso da intermodalidade é a maneira mais econômica de escoar a produção de soja brasileira. Em termos de valores, o estudo apontou uma redução de 13% nos custos da rota intermodal em detrimento da rota monomodal.

Branco (2007) desenvolveu um estudo com o objetivo de avaliar quanto de carga a Estrada de Ferro Norte-Sul seria capaz de captar de sua área de influência. O cultivo de produtos agrícolas se infiltrou na região Norte do país e, desde então, novas políticas para promover melhorias na infraestrutura de transporte para o escoamento das safras via portos do Norte e Nordeste do país vem sendo feitas. O prolongamento da Estrada de Ferro Norte-Sul faz parte do planejamento estratégico do corredor Centro-Norte e, segundo o autor, deve promover mudanças importantes em vários estados, como: Pará, Maranhão, Tocantins, Goiás, Bahia, Piauí e Mato Grosso.

Para realização do estudo, o autor dividiu a área de influência em microrregiões e, em seguida, fez o levantamento das quantidades dos produtos agrícolas considerados (soja, arroz, etc) ofertadas e das demandas de fertilizantes em cada microrregião. O autor utilizou a seguinte formulação, baseada nos modelos de fluxos *multicommodity*. (AHUJA *et al.*, 1993)

Parâmetros:

n = número total de centros geradores de carga

m = número total de centros de atração de carga

r = número total de pontos de transbordo iniciais para modais alternativos ao rodoviário (ferroviário ou hidroviário)

q = número total de pontos de transbordo finais para modais alternativos ao rodoviário (ferroviário ou hidroviário)

O_o = oferta na origem o

D_d = demanda no destino d

FX_{od} = frete para transporte do produto do centro gerador de carga o para o centro de atração de carga d

$FY_{oi_{t_1}}$ = frete para transporte do produto do centro gerador de carga o

para o transbordo t_1

$FZ_{t_1 t_2}$ = frete para transporte do produto do centro gerador de carga o , passando

pelos transbordos t_1 e t_2

$FW_{t_2 d}$ = frete para transporte do produto do transbordo t_2 para o centro

de atração de carga d

E_o = exportação na origem o

I_d = importação no destino d

Variáveis:

X_{od} = fluxo que sai do centro gerador o ao centro de atração de carga d

Y_{ot_1} = fluxo que sai do centro gerador de carga o ao ponto de transbordo t_1

$Z_{ot_1 t_2}$ = fluxo que sai do centro gerador de carga o e passa pelos

transbordos t_1 e t_2

$W_{ot_2 d}$ = fluxo que sai do centro gerador de carga o e passa pelos transbordo t_2

para um certo d

$$\begin{aligned} \text{Min } L = & \sum_{o=1}^n \sum_{d=1}^m X_{od} F X_{od} + \sum_{o=1}^n \sum_{t_1=1}^r Y_{ot_1} F Y_{oi_{t_1}} + \\ & \sum_{o=1}^n \sum_{t_1=1}^r \sum_{t_2=1}^q Z_{ot_1 t_2} F Z_{t_1 t_2} + \sum_{o=1}^n \sum_{t_2=1}^q \sum_{d=1}^m W_{ot_2 d} F W_{t_2 d} \end{aligned} \quad (3.7)$$

sujeito a:

$$\sum_{d=1}^m X_{od} + \sum_{t_1=1}^r Y_{ot_1} \geq O_o, \quad \forall o \quad (3.8)$$

$$\sum_{o=1}^n X_{od} + \sum_{o=1}^n \sum_{t_2=1}^q W_{ot_2 d} = D_d, \quad \forall d \quad (3.9)$$

$$Y_{ot_1} = \sum_{t_2=1}^q Z_{ot_1 t_2}, \quad \forall o, t_1 \quad (3.10)$$

$$\sum_{o=1}^n \sum_{t_1=1}^r Z_{ot_1t_2} = \sum_{o=1}^n \sum_{d=1}^m W_{ot_2d}, \quad \forall o, t_2 \quad (3.11)$$

$$\sum_{d=porto1}^{porto s} X_{od} + \sum_{r_2=1}^q \sum_{d=porto1}^{porto s} W_{ot_2d} \geq E_o, \quad \forall o \quad (3.12)$$

$$\sum_{o=porto1}^{porto s} X_{od} + \sum_{o=porto1}^{porto s} \sum_{t_2=1}^q W_{ot_2d} \geq I_d, \quad \forall d \quad (3.13)$$

$$X_{od} \geq 0, \quad \forall o, d \quad (3.14)$$

$$Y_{ot_1} \geq 0, \quad \forall o, t_1 \quad (3.15)$$

$$Z_{ot_1t_2} \geq 0, \quad \forall o, t_1, t_2 \quad (3.16)$$

$$W_{ot_2d} \geq 0, \quad \forall o, t_2, d \quad (3.17)$$

O modelo tem uma função objetivo (3.7) de minimização dos custos logísticos totais e restrições de balanço de oferta (3.8) e demanda (3.9) em cada ponto da rede e para o sistema como um todo. Note que o autor optou por utilizar uma variável diferente para representar o fluxo de produtos em cada trecho da rede de escoamento. Desta forma, a modelagem se torna extensa e pouco genérica, o que pode ser um problema para redes muito maiores.

A formulação foi aplicada em vários cenários e para vários produtos agrícolas movimentados na região de influência da ferrovia, incluindo o fluxo reverso de fertilizantes. O autor concluiu que os resultados apresentam algumas imprecisões em virtude dos valores de frete assumidos, cujo ano base foi 2005. No entanto, afirma que ainda assim a formulação pode servir como ferramenta de suporte para o planejamento estratégico de redes de transporte.

O aumento nas exportações brasileiras de produtos agroindustriais e a expansão das fronteiras agrícolas para as regiões Norte e Nordeste do país têm aumentado o interesse do governo em promover o desenvolvimento dessas áreas. Com base nos trabalhos que foram apresentados até agora, é possível perceber que a pesquisa acadêmica tem se motivado a estudar e analisar os impactos do desenvolvimento infraestrutural de transporte dessas regiões. Também no que se refere aos problemas relacionados com a Teoria da Localização de Instalações, a pesquisa tem se desenvolvido rapidamente ao longo dos anos. A próxima seção mostra essa evolução por meio de alguns trabalhos importantes para a área e de aplicações atuais em diferentes sistemas.

3.3. Problemas de localização de instalações

Os Problemas de Localização de Instalações são aqueles que têm o objetivo de localizar um ou mais centros, com a finalidade de atender à população de uma determinada área geográfica. Geralmente orientada por uma função objetivo bem definida e obedecendo a um conjunto de restrições, a solução ótima do problema será o número e a localização dos centros que atendem a tal população, da forma mais econômica possível. Esse tipo de problema vem sendo estudado ao longo dos anos e, apesar de estar em diferentes contextos, possui características gerais comuns: um espaço e uma métrica, clientes de localização conhecida e instalações a serem abertas segundo requisitos de uma função objetivo. (GALVÃO, 1981; DASKIN, 1995; REVELLE *et. al.*, 2007)

Ghiani *et al.* (2004) classificaram os Problemas de Transporte de Carga em: longa distância (*long haul*) e curta distância (*short haul*). No primeiro, a carga é transportada entre instalações diferentes (terminais, armazéns, etc.), por longas distâncias e, por essa razão, geralmente utiliza mais de um modal de transporte. No segundo, isto é, no transporte de carga por curtas distâncias, o modal rodoviário é o mais utilizado e a movimentação da carga acontece entre os pontos de oferta e demanda, sem intermediários.

Crainic e Laporte (1997) se preocuparam em classificar Modelos de Planejamento para o Transporte de Carga sob o ponto de vista dos três níveis clássicos de planejamento: estratégico, tático e operacional, com o objetivo de identificar alguns dos principais problemas relacionados ao planejamento e operação do transporte de carga, bem como métodos de solução e ferramentas computacionais.

Localizar instalações foi classificado, segundo os autores, como um problema do nível estratégico, junto com as decisões de projeto de rede e as decisões de planejamento multimodal regional, que se preocupa em estudar a movimentação de cargas entre fronteiras. Nesse nível, as decisões são tomadas geralmente pelas altas gerências e devem refletir a realidade da empresa num longo prazo. Uma característica marcante desse tipo de decisão é o alto custo incorrido na execução do que foi planejado.

Os modelos de localização, foco desta pesquisa, são classificados usualmente como em Crainic e Laporte (1997): modelos de cobertura, modelos de centro e modelos de medianas.

1. Modelos de cobertura

Os modelos de cobertura são caracterizados pela localização de uma instalação em um determinado vértice da rede, de modo a cobrir a demanda de todos os outros vértices. Dessa forma, a função objetivo de minimização dos custos de instalação funciona sobre um conjunto de restrições que garanta essa cobertura. Em situações reais, a localização das novas instalações obedece a limites de orçamento. Por essa razão, não raro esse problema pode ser formulado com uma função objetivo de maximização da demanda a ser coberta, diante de custos de instalação e orçamento conhecidos. Exemplos clássicos: localização de hospitais, postos de correio, bibliotecas, escolas, etc.

2. Modelos de centro

O interesse desse tipo de modelo é fazer com que p instalações ($p \geq 1$) sejam localizadas de forma a garantir a minimização da distância máxima entre uma instalação e um vértice. Exemplo clássico: localização de bases de ambulâncias.

3. Modelos de medianas

Os modelos de medianas localizam p instalações ($p \geq 1$) nos vértices da rede, alocando demandas para cada instalação. O objetivo é minimizar as distâncias totais entre as instalações e as demandas. Esses modelos passaram a ser bastante estudados e sofreram variações para se adaptarem às diferentes realidades. Cada uma dessas variações acabou se tornando foco de estudo de pesquisadores e se desenvolveu tanto em novas aplicações quanto nos métodos de solução. As variações mais conhecidas são:

- a. p -medianas: se as instalações são não-capacitadas e o valor de p é fixo.
- b. UPLP (*uncapacitated plant location problem*): se p é uma variável e as instalações não têm restrição de capacidade.
- c. CPLP (*capacitated plant location problem*): se p é uma variável de decisão e as instalações possuem restrição de capacidade.

No nível tático estão os problemas de Projeto de Redes de Serviço e os Problemas de Roteirização de Veículos (VRP - *Vehicle Routing Problems*) e no nível operacional, a Programação Dinâmica, mais aplicada às operações de movimentação de carga, e a Roteirização de Veículos, com considerações de capacidade e incertezas.

A Figura 3.2 foi elaborada para representar, de forma sintética, a classificação feita pelos autores.

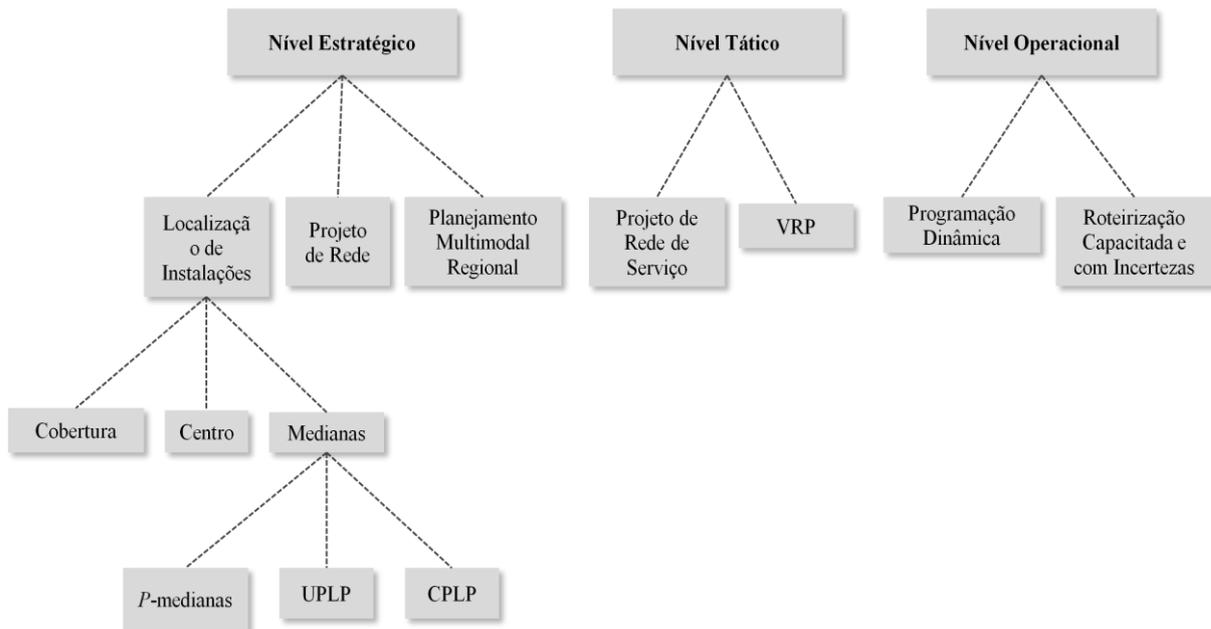


Figura 3.2: Modelos de planejamento do transporte de carga

A localização ótima dada como solução para os problemas tem apenas o aspecto matemático incorporado. Como localizar uma nova instalação, ou mesmo realocar ou fechar outra antiga, são decisões que fazem parte do planejamento estratégico de qualquer tipo de negócio (DASCI e LAPORTE, 2005). É importante compreender que vários aspectos qualitativos não são levados em consideração na hora de formular o problema. Neste sentido, Daskin (1995) questionou a razão pela qual são desenvolvidos modelos matemáticos para localização de instalações, se esses modelos não incorporam questões qualitativas externas importantes. O próprio autor argumenta a importância da construção desses modelos por meio de quatro afirmações.

1. A localização de instalações, apesar de não ser considerada determinante para o sucesso da empresa, é sempre uma decisão crítica, do tipo que se utiliza de ferramentas de auxílio.
2. A possibilidade de quantificar a “degradação” que um fator qualitativo exógeno pode provocar na solução ótima do problema é outro fator importante. Se uma base de ambulâncias é instalada em uma determinada cidade por questões políticas, é possível quantificar o aumento ou redução no tempo de resposta do serviço, por exemplo.
3. Para a construção de um modelo, várias questões são observadas, de forma a tornar a realidade mais bem representada possível, do ponto de vista matemático. Ainda que o modelo nunca seja utilizado, essas questões levantadas são de suma

importância para o entendimento do problema e deve servir de auxílio à tomada de decisões.

4. Modelos de localização podem ser utilizados em diferentes situações que não a localização de instalações. Um exemplo é o problema de seleção de ferramentas em um sistema de manufatura flexível.

Taniguchi *et al.* (1999) aplicaram a Teoria da Localização de Instalações no planejamento da localização e dimensionamento de terminais logísticos públicos. Segundo os autores, o conceito de terminal logístico público foi primeiramente proposto no Japão. São instalações complexas onde é possível realizar atividades de transbordo, armazenagem, dentre outras, e contam com o auxílio de poderosos sistemas de informação.

A formulação proposta resultou em um modelo não linear que incorpora aspectos da Teoria das Filas. Esse tipo de problema, quando em larga escala, necessita de um método heurístico para encontrar solução. No trabalho, os autores utilizaram algoritmos genéticos para resolver o problema na região de Kyoto-Osaka e obtiveram boas soluções.

Costa (2009) desenvolveu um modelo de localização de instalações no contexto da logística reversa de produtos defeituosos e/ou produtos cujo descarte indevido compromete o meio ambiente. O interesse foi o de localizar da forma mais econômica possível, baseando-se nos custos totais do sistema, os postos de coleta acessíveis aos consumidores e os postos de acondicionamento, onde esses produtos são recebidos de volta.

Lopes e Caixeta Filho (2000) utilizaram um modelo de localização para propor uma melhor distribuição de granjas suinícolas no estado de Goiás. Para isso, eles consideraram os custos de transporte dos grãos de soja e milho até as granjas, os custos de transporte dos animais até os abatedouros e os custos de transporte das carcaças até o consumidor. Os municípios de Belo Horizonte, São Paulo, Rio de Janeiro e o Distrito Federal foram considerados os mercados consumidores, cujas demandas foram representadas como o consumo *per capita* de carne suína.

O modelo utilizado conta com uma função objetivo (3.18) de minimização de custos (custo variável de transporte + custo fixo de abrir a instalação) e várias restrições de oferta e demanda. Segundo os autores, essa formulação respondeu bem às questões do problema.

Parâmetros:

L = número de tamanhos de granja

K = tipos de grão (soja e milho)

J = número de regiões onde podem ser instaladas as granjas

I = número de regiões onde podem ser instalados os abatedouros

M = número de regiões consumidoras

K_j^l = custo de instalação de uma granja tamanho l em j

K_i = custo de instalação do abatedouro na região i

D_j^{kl} = demanda da granja de tamanho l pelo grão k instalada na região j

B_j^l = capacidade de oferta das granjas de tamanho l instaladas em j

E_i = demanda de suínos por abatedouro instalado a região i

D_m = demanda por carcaças na região m

S_i^k = quantidade do grão k disponível na área de produção i

G_i = quantidade de carcaças ofertada pelo abatedouro instalado na região i

Variáveis:

G_{ij}^{kl} = quantidade de grão k transportada da área de produção i para a granja de tamanho l localizada em j

S_{ji}^l = quantidade de suínos transportada das granjas de tamanho l instaladas na região j para os abatedouros instalados em i

CS_{im} = quantidade de carcaças transportada da região de abate i para regiões consumidoras m

A_i = variável binária associada a instalação ou não de abatedouro na região i

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{ij}^k G_{ij}^{kl} + \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J K_j^l F_j^l + \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I C_{ji} S_{ji}^l + \sum_{i=1}^I K_i A_i \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M C_{im} CS_{im} \end{aligned} \quad (3.18)$$

sujeito a:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J G_{ij}^{kl} \leq S_i^k, \quad \forall k, i \quad (3.19)$$

$$\sum_{i=1}^I G_{ij}^{kl} - F_j^l D_j^{kl} \geq 0, \quad \forall k, j, l \quad (3.20)$$

$$\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I S_{ji}^l - F_j^l B_j^l \leq 0, \quad \forall j \quad (3.21)$$

$$\sum_{j=1}^J S_{ji}^l - A_i E_i \geq 0, \quad \forall i, l \quad (3.22)$$

$$\sum_{m=1}^M CS_{im} - A_i G_i \leq 0, \quad \forall i \quad (3.23)$$

$$\sum_{i=1}^I CS_{im} \geq D_m, \quad \forall m \quad (3.24)$$

$$\sum_{i=1}^I A_i \leq n \quad (3.25)$$

$$G_{ij}^{kl} \geq 0, \quad \forall i, j, k, l \quad (3.26)$$

$$S_{ji}^l \geq 0, \quad \forall i, j, l \quad (3.27)$$

$$S_{ji}^l \geq 0, \quad \forall i, j, l \quad (3.28)$$

$$CS_{im} \geq 0, \quad \forall i, m \quad (3.29)$$

$$A_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \quad (3.30)$$

Foram elaborados três cenários, variando esse consumo em três níveis, sendo um deles o cenário daquele ano e os outros dois as perspectivas do setor. Os autores concluíram para todos os cenários que a implantação de granjas de grande porte é mais interessante em termos econômicos e que, por essa mesma razão, a localização da mesma se deu, na maioria dos casos, próximo ao abatedouro.

Oliveira (2005b) estudou os fluxos de açúcar no estado de São Paulo e aplicou um modelo de localização para determinar os melhores locais para a instalação de armazéns concentradores de carga. O foco do trabalho foi analisar o impacto da utilização da estratégia intermodal para o transporte de açúcar, utilizando o transporte rodoviário até as unidades concentradoras e ferroviário delas até os portos por onde o produto é exportado. A Figura 3.3 representa essa estratégia de forma simplificada.

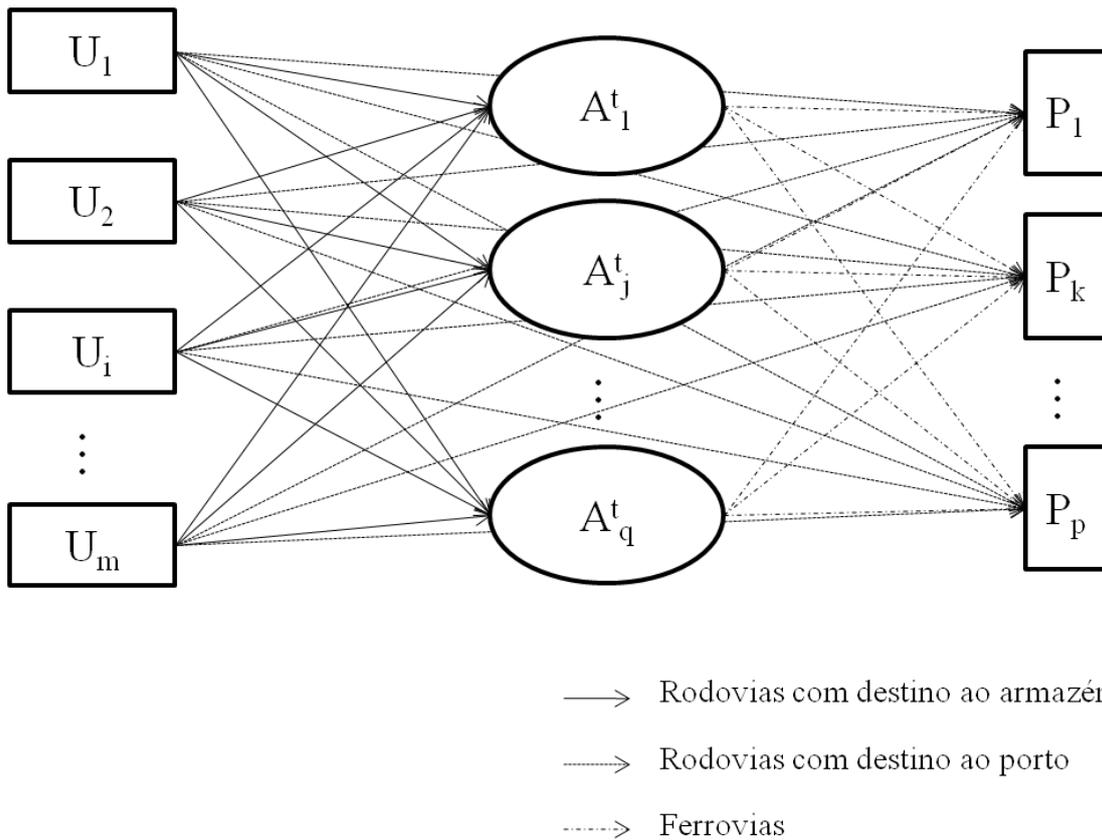


Figura 3.3: Representação diagramática do modelo

Fonte: Adaptado de Oliveira (2005b)

A localização ótima dos armazéns concentradores de carga é dada por meio da seguinte formulação:

Parâmetros:

m = número de usinas

p = número de portos

n = número de armazéns

q = número de armazéns de tamanhos t diferentes

c_{ij} = frete rodoviário para ir da usina i para o armazém j

d_{jk} = frete ferroviário para ir do armazém j para o porto k

e_{ik} = frete rodoviário para ir da usina i para o porto k

CP_k = custo portuário do porto k

S_i = produção da usina i

CAP_t = capacidade dinâmica do armazém de tamanho t

$EXPORT_k$ = demanda do porto k

a = número máximo de armazéns que pode ser instalado

CO_t = custo operacional do armazém de tamanho t

Variáveis:

x_{ij} = quantidade transportada via rodovia da usina i para o armazém j

y_{jk} = quantidade transportada via ferrovia do armazém j para o porto k

z_{ik} = quantidade transportada via rodovia da usina i para o porto k

H_j = custo operacional total do armazém localizado em j

w_k = quantidade de produto que chega ao porto k

B_{jt} = variável binária associada à localização do armazém de tamanho t em j

$$\text{Min } L = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p d_{jk} y_{jk} + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p e_{ik} z_{ik} + \sum_{j=1}^n H_j + \sum_{k=1}^p CP_k w_k \quad (3.31)$$

sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} + \sum_{k=1}^p z_{ik} \leq S_i, \quad \forall i \quad (3.32)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq \sum_{t=1}^q CAP_t B_{jt}, \quad \forall j \quad (3.33)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = \sum_{k=1}^p y_{jk}, \quad \forall j \quad (3.34)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{jk} + \sum_{i=1}^m z_{ik} = w_k, \quad \forall k \quad (3.35)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{jk} + \sum_{i=1}^m z_{ik} \geq EXPORT_k, \quad \forall k \quad (3.36)$$

$$\sum_{t=1}^q B_{jt} \leq a, \quad \forall j \quad (3.37)$$

$$H_j = \sum_{t=1}^q CO_t B_{jt}, \quad \forall j \quad (3.38)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j \quad (3.39)$$

$$y_{jk} \geq 0, \quad \forall j, k \quad (3.40)$$

$$z_{ik} \geq 0, \quad \forall i, k \quad (3.41)$$

$$w_k \geq 0, \quad \forall k \quad (3.42)$$

$$B_{jt} \in \{0, 1\}, \quad \forall j, t \quad (3.43)$$

A função objetivo (3.31) minimiza os custos de transporte e os custos operacionais dos armazéns e portos, obedecendo a restrições de oferta (3.32), demanda (3.36) e capacidade (3.33). Nesse modelo também é observado um grande número de variáveis. Por opção da autora, para cada trecho do percurso do produto é utilizada uma variável diferente. Vale lembrar que esse tipo de formulação tende a ser pouco genérica e muito extensa, na medida em que o cenário modelado cresce. A autora deixou claro que foram feitas algumas simplificações para que o modelo pudesse ser utilizado, mas, que ainda assim, representasse o problema. Na verdade, é bastante comum fazer considerações que simplifiquem o problema. É preciso tomar cuidado, no entanto, para que essas simplificações não tornem a formulação inadequada para a realidade de se deseja representar.

Algumas das considerações feitas pela autora foram:

1. As demandas são percentuais das quantidades ofertadas, isto é, foi considerado, por exemplo, que 90% do açúcar produzido no estado de São Paulo são exportados via Porto de Santos;
2. Não foram consideradas economias de escala, nem para o transporte da carga, nem para a armazenagem;
3. O modelo não considera o comportamento das exportações ao longo dos períodos;
4. Não foram considerados os custos de instalação dos armazéns.

Foram gerados cenários variando o número máximo de armazéns que poderiam ser instalados, o custo operacional de cada armazém e o valor do frete ferroviário. Por meio dos cenários, o trabalho pôde gerar diversas conclusões. Por exemplo, foi verificado que o transporte intermodal é mais interessante do que o monomodal, sob o ponto de vista dos custos incorridos, e que o Porto de Santos, que é responsável por quase totalidade das exportações de açúcar no Brasil, tem apenas 10% de sua capacidade de recepção de açúcar vinda por ferrovia ocupada. Isso porque a maior parte ainda chega das usinas diretamente por rodovia.

Ferrari (2006) desenvolveu um modelo para localizar unidades armazenadoras de soja no estado do Mato Grosso. Conforme observado antes, o estado é o maior produtor de soja do Brasil e, segundo a autora, é carente de armazéns, necessários para a secagem do grão antes de ser transportado para o seu destino final. O objetivo principal do trabalho foi o de determinar para cada microrregião do estado o número de armazéns e a capacidade ótima de estocagem, minimizando os custos de transporte, de operação no armazém e de instalação.

A autora utilizou a seguinte formulação:

Parâmetros:

m = número de pontos produtores de soja

n = número de armazéns

T = número de períodos de tempo considerados

p = número de portos (pontos de demanda)

q = número de armazéns com capacidade t

t = capacidade do armazém

c_{ij} = custo rodoviário de transportar soja da origem i para o armazém j

re_j = custo de recepção da soja no armazém

d_{jk} = custo rodoviário + ferroviário ou hidroviário de transportar soja da origem i ao armazém j

ex_j = custo de expedição mensal da soja no armazém j

es_j = custo de estocagem mensal no armazém j

ci_t = custo de construção de um armazém de capacidade t

nar_t = número máximo de armazéns de capacidade t a serem instalados

S_{io} = produção de soja na origem i no período o

R_{ko} = demanda total no porto k no período o

Variáveis:

x_{ijo} = quantidade de soja transportada da origem i ao armazém j no período o

y_{jko} = quantidade de soja transportada do armazém j ao porto k no período o

a_{jo} = quantidade de soja estocada no armazém j no período o

q_{jt} = variável binária associada à instalação de um armazém de tamanho t em j

$$\begin{aligned}
Min Z = & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{o=1}^T x_{ijo} (c_{ijo} + re_j) + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \sum_{a=1}^T y_{jkn} (d_{jkn} + ex_j) + \\
& \sum_{j=1}^n \sum_{o=1}^T a_{jo} es_j + \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^q ci_t q_{jt} nar_t
\end{aligned} \tag{3.44}$$

sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ijo} - S_{io} = 0, \quad \forall i, o \tag{3.45}$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijo} + a_{jo-1} = \sum_{k=1}^p y_{jko} + a_{jo}, \quad \forall j, o \tag{3.46}$$

$$a_{jo_{máximo}} \leq \sum_{t=1}^q q_{jt} cap_t nar_t \quad \forall j, o \tag{3.47}$$

$$\sum_{j=1}^n y_{jko} = R_{ko}, \quad \forall j, o \tag{3.48}$$

$$\sum_{t=1}^q q_{jt} cap_t nar_t \geq \sum_{k=1}^p y_{jko}, \quad \forall j, o \tag{3.49}$$

$$x_{ijo} \geq 0, \quad \forall i, j, o \tag{3.50}$$

$$y_{jko} \geq 0, \quad \forall j, k, o \tag{3.51}$$

$$a_{jo} \geq 0, \quad \forall j, o \tag{3.52}$$

$$q_{jt} \in \{0,1\}, \quad \forall j, t \tag{3.53}$$

A formulação proposta por Ferrari (2006) repete a idéia da utilização de várias variáveis para representar custos e fluxos em cada trecho das rotas. Assim, como os modelos de localização que já foram apresentados até então, este tem uma função objetivo de minimização de custos totais (3.44) e restrições de oferta (3.45), demanda (3.48), capacidade (3.47) e equilíbrio de capacidade e fluxos (3.49). Além disso, como neste caso o tempo (o) também é considerado, há ainda a restrição de equilíbrio do estoque mensal no armazém (3.46). O que o diferencia da formulação de Oliveira (2005b) é que, além do modelo ser multiperíodo, a autora incluiu uma parcela que considera os custos de instalação de armazém na função objetivo.

Em situações reais, os problemas de localização em geral minimizam um número de instalações, levando-se em conta também os custos fixos para abrir os

mesmos. No geral, as empresas trabalham com um orçamento limitado, por isso, para que a formulação represente mais adequadamente o cenário, é interessante fazer a consideração desses custos fixos na função objetivo.

Xavier (2008), também com uma visão mais estratégica, aplicou um modelo de programação linear inteira-mista, similar ao proposto por Ferrari (2006), para determinar os melhores locais para localização de tanques de armazenagem de álcool combustível no Brasil. O modelo foi composto por uma função objetivo de minimização dos custos logísticos da cadeia de distribuição de álcool e pelas restrições comuns a vários modelos de localização de instalações, como as de equilíbrio de oferta e demanda e as de capacidade das instalações e/ou vias.

Dubke (2006) utilizou uma combinação dos modelos de localização de plantas capacitadas para múltiplos produtos com modelos de transbordo de cargas, para desenvolver um modelo matemático capaz de determinar a localização ótima de terminais especializados no Brasil. Por terminais especializados, a autora entende que são terminais que se localizam no entorno de grandes portos ou terminais de transbordo, nos quais são realizadas atividades que agregam valor ao produto movimentado.

A formulação proposta, como é possível observar a seguir, é um pouco diferente das que foram apresentadas até o momento. Conta com uma função objetivo (3.54) que visa maximizar o lucro total do sistema. Para isso, considera uma primeira parcela onde é contabilizado o preço de venda do produto e dela subtrai todos os custos incorridos, como os de instalação dos terminais especializados. Esta função objetivo está sujeita às restrições de conservação de fluxo (3.60) e às condições de ofertas (3.55), demandas (3.56) e de capacidade dos terminais (3.57 e 3.58).

Conjuntos:

I = conjunto dos pontos de origem i

J = conjunto das plataformas logísticas ou terminais especializados j

K = conjunto dos pontos de destino k

M = conjunto dos insumos m

Q = conjunto dos produtos q

S = conjunto dos serviços s

Parâmetros:

P_{kq} = preço do produto q comercializado no destino k

$C_{ijm}^{inbound}$ = custo de transporte da origem i ao terminal j , transportando o insumo m

$C_{jkq}^{outbound}$ = custo de transporte do terminal j a região k , transportando o produto q

f_j = custo de instalação de um terminal j

g_{js}^{serv} = custo que oferecer o serviço s no terminal j

α_{jism}^{serv} = custo variável do pacote de serviço s realizado no insumo m no terminal j

β_{jsmq} = coeficiente de alteração do volume por serviço s e insumo m

w_{js} = capacidade instalada de atendimento do pacote de serviços s no terminal j

W_j = capacidade instalada do terminal j

Z = número máximo de terminais j abertos

S_{im} = oferta o insumo m na origem i

D_{kq} = demanda do produto q na região k

Variáveis:

$X_{jksq}^{outbound}$ = quantidade de produto q que realizou o serviço s no terminal j para o destino k

$X_{ijsm}^{inbound}$ = fluxo de insumos m enviados dos pontos de origem i ao terminal j para realização do serviço s

Y_j = variável binária que determinada a instalação ou não do terminal

Y_{js}^{serv} = variável binária que determina se há o serviço s no terminal j

$$\begin{aligned}
 Max \quad & \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{q \in Q} \sum_{s \in S} P_{kq} X_{jksq}^{outbound} - \sum_{j \in J} \left\{ \sum_{i \in I} \sum_{m \in M} C_{ijm}^{inbound} \sum_{s \in S} X_{ijsm}^{inbound} \right\} \\
 & - \sum_{j \in J} \left\{ f_j Y_j + g_{js}^{serv} Y_{js}^{serv} + \sum_{s \in S} \sum_{m \in M} \sum_{i \in I} \alpha_{jism}^{serv} X_{ijsm}^{inbound} \right\} \\
 & - \sum_{j \in J} \left\{ \sum_{k \in K} \sum_{q \in Q} C_{jkq}^{outbound} \sum_{s \in S} X_{jksq}^{outbound} \right\}
 \end{aligned} \tag{3.54}$$

sujeito a:

$$\sum_j \sum_s X_{ijsm}^{inbound} \leq S_{im}, \quad \forall i \in I, m \in M \quad (3.55)$$

$$\sum_j \sum_s X_{jksq}^{outbound} \leq D_{kq}, \quad \forall k \in K, q \in Q \quad (3.56)$$

$$\sum_m \sum_i X_{ijsm}^{outbound} \leq w_{js} Y_{js}^{serv}, \quad \forall j \in J, s \in S \quad (3.57)$$

$$\sum_s \sum_m \sum_i X_{ijsm}^{inbound} \leq W_j Y_j, \quad \forall j \in J \quad (3.58)$$

$$Y_{js}^{serv} \leq Y_j, \quad \forall j \in J, s \in S \quad (3.59)$$

$$\beta_{jsmq} \sum_i X_{ijsm}^{inbound} - \sum_k X_{jksq}^{outbound} = 0, \quad (3.60)$$

$$\forall i \in I, j \in J, s \in S, k \in K, m \in M, q \in Q$$

$$\sum_j Y_j \leq Z, \quad \forall j \in J \quad (3.61)$$

$$X_{ijsm}^{inbound}, X_{jksq}^{outbound} \geq 0, \quad \forall i \in I, j \in J, s \in S, k \in K, m \in M, q \in Q \quad (3.62)$$

$$Y_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (3.63)$$

$$Y_{js}^{serv} \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J, s \in S \quad (3.64)$$

Para aplicar o modelo, foi utilizada a rede de movimentação de processamento da soja. A escolha foi justificada não só pela importância da soja para a economia brasileira, mas também pelo fato do grão necessitar passar por uma série de processos e transbordos até o destino final na forma desejada pelo cliente (grão, farelo ou óleo). Os resultados identificaram a necessidade de 6 terminais especializados, localizados em 6 portos marítimos: Itaquí – MA, Tubarão – ES, Santos – SP, Paranaguá – PR, São Francisco do Sul – SC e Rio Grande – RS. A Figura 3.4 representa os caminhos mínimos encontrados das cidades de origem até os terminais.

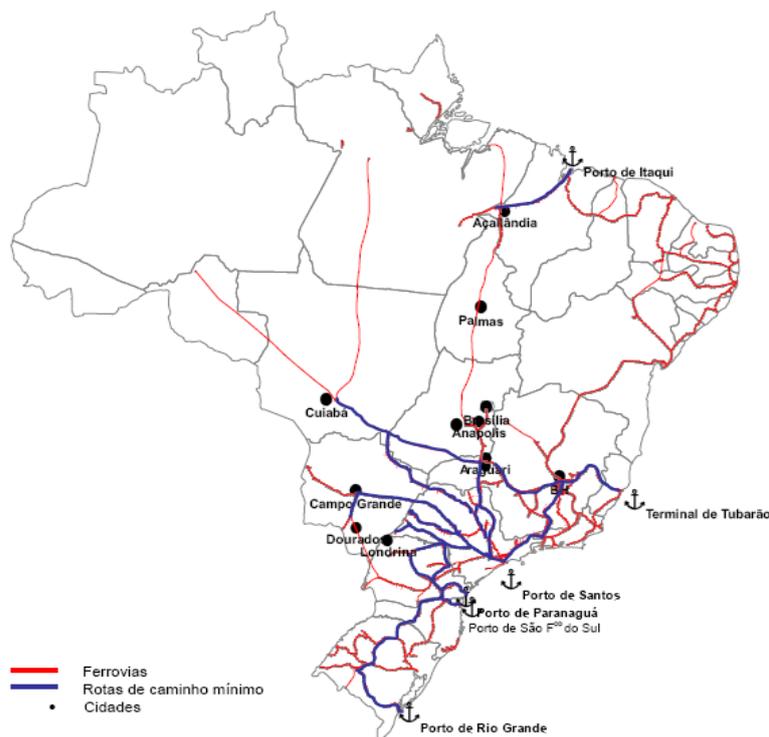


Figura 3.4: Rotas de escoamento da soja em grão

Fonte: Dubke (2006)

A autora procurou enfatizar que os terminais especializados ainda são um assunto pouco tratado no Brasil e que, por isso, a pesquisa encontrou dificuldades iniciais. A aplicação do modelo e as análises de sensibilidade produziram resultados satisfatórios e condizentes com a realidade do complexo da soja, ainda que os dados considerados fossem resultados de analogias e estimativas, já que houve dificuldade em encontrar dados confiáveis, principalmente os custos de transporte, operação e de instalação do terminal.

Arnold *et al.* (2001) propuseram uma série de formulações para determinação da localização ótima de terminais intermodais. A cada formulação, novas questões foram sendo incorporadas, como as capacidades nos terminais ou limites de custo por rota, mas o objetivo central era determinar a localização e o número ótimo de terminais intermodais, considerando os custos de transporte e o custo fixo de instalação de cada unidade. Foram considerados dois modais (rodoviário e ferroviário) e três opções de rota: monomodal, intermodal com 1 transbordo e intermodal com 2 transbordos.

Os autores discutiram a importância da intermodalidade no transporte de carga por longas distâncias e corroboraram com outros autores da literatura de

transporte intermodal, apresentada de forma sucinta no capítulo 2, em afirmar que a prática da intermodalidade tem trazido benefícios econômicos importantes.

O gráfico da Figura 3.5 representa a relação entre o custo de transporte e a distância percorrida para movimentar uma determinada carga de i para j , para cada uma das estratégias de movimentação de carga: monomodal ou multimodal. A estratégia de movimentação monomodal resulta em um custo de transporte linear em relação à distância percorrida. Note que para ir de i para j seguindo a estratégia multimodal, a distância percorrida é maior, mas o custo é menor. O custo é o mesmo da estratégia monomodal no primeiro trecho, de i a k , mas, caso seja possível realizar um transbordo para um modal mais econômico, isso é o que a estratégia determina. É importante ressaltar que há um custo de operação no terminal intermodal utilizado para realizar o transbordo que é considerado. Assim, só é feito o transbordo se, ainda que se pague o custo de operação no terminal, é mais econômico mudar de modal.

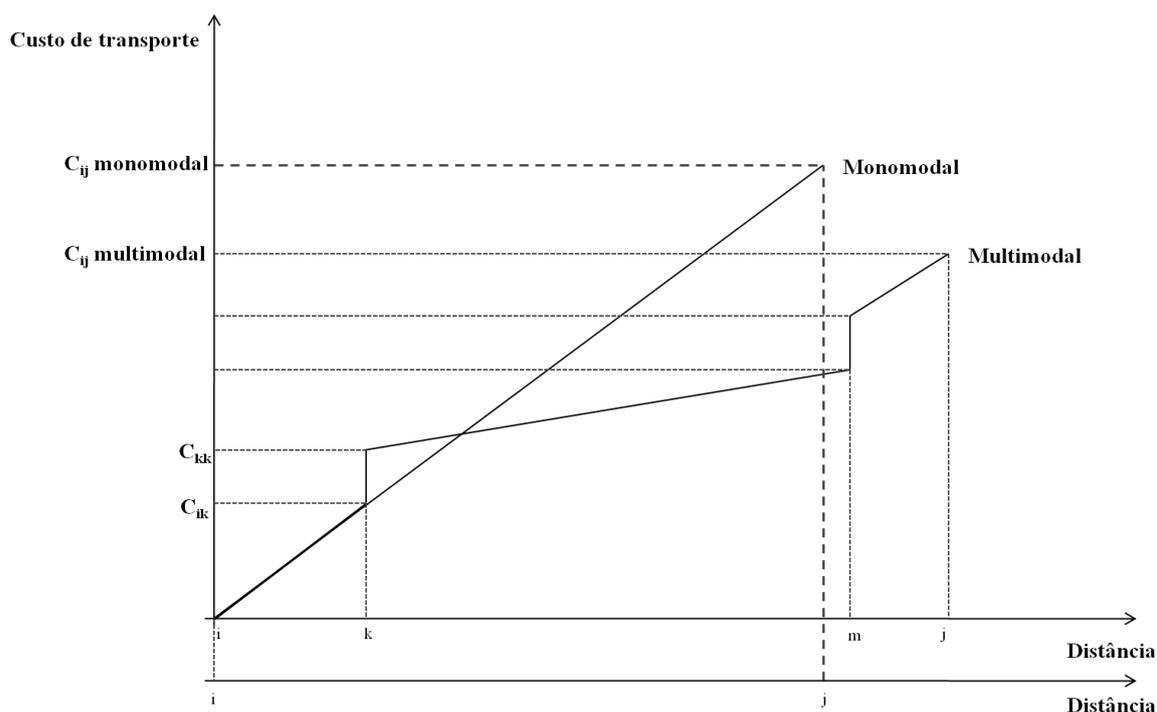


Figura 3.5: Relação custo x distância de acordo com a estratégia de transporte

Fonte: Adaptado de Arnold *et al.* (2001)

Para modelagem do problema, os autores visualizaram cada modal formando uma rede (Figura 3.6). É permitido que a carga passe da rede rodoviária para a rede ferroviária desde que seja instalado um terminal intermodal, isto é, desde que haja um arco ligando as duas redes, conforme ilustrado na figura.

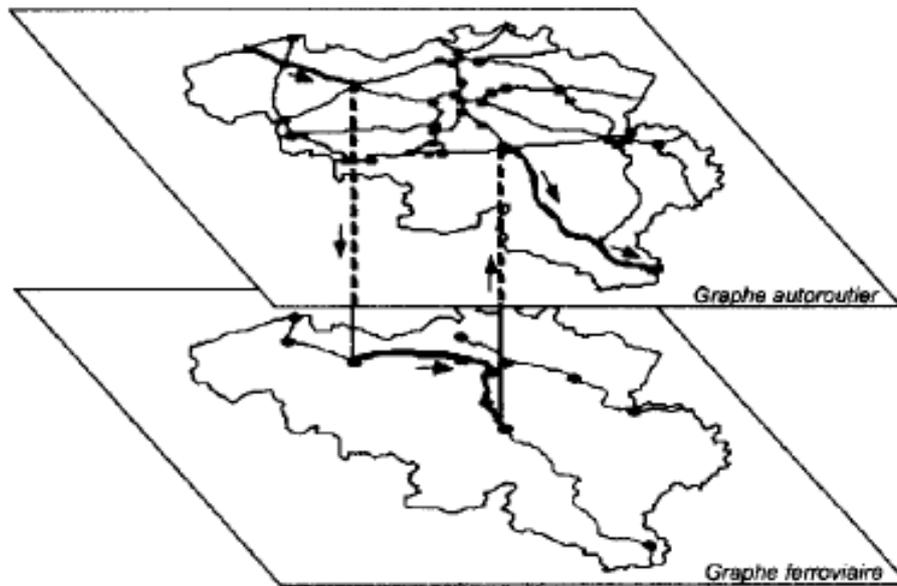


Figura 3.6: Representação multiníveis das redes rodoviária e ferroviária

Fonte: Arnold *et al.* (2001)

Uma das formulações apresentadas, transcrita a seguir, tem uma função objetivo que visa minimizar os custos de transporte e instalação de terminais (3.65) e quatro restrições. A primeira restrição (3.66) determina o número máximo de terminais instalados q e a segunda (3.67) indica se a rota é monomodal ou intermodal. Caso a rota seja intermodal, a restrição (3.68) garante a instalação do terminal. Por fim, a restrição (3.69) permite que sejam impostos limites de capacidade o terminal.

Parâmetros:

c_{km}^{ij} = custo de transportar uma unidade por uma rota intermodal de i para j ,

fazendo um transbordo ($k = m$) ou dois transbordos ($k \neq m$)

c_{ij} = custo de transporte por uma rota monomodal de i para j

q = número de terminais a serem instalados

λ_k = capacidade do terminal instalado em k

Variáveis:

x_{km}^{ij} = variável binária para indicar a utilização de rota intermodal de i para j ,

fazendo um transbordo ($k = m$) ou dois transbordos ($k \neq m$)

w_{ij} = variável binária para indicar a utilização de rota monomodal de i para j

y_k = variável binária para indicar a instalação ou não de um terminal intermodal em k

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in P} \sum_{(k,m) \in K^2} c_{km}^{ij} x_{km}^{ij} + \sum_{(i,j) \in P} c_{ij} w_{ij} \quad (3.65)$$

sujeito a:

$$\sum_{k \in K} y_k = q \quad (3.66)$$

$$\sum_{(k,m) \in K^2} x_{ij}^{km} + w_{ij} = 1, \quad \forall (i,j) \in P \quad (3.67)$$

$$x_{ij}^{kk} + \sum_{m \in K, m \neq k} (x_{ij}^{km} + x_{ij}^{mk}) \leq y_k, \quad \forall (i,j) \in P, k \in K \quad (3.68)$$

$$\sum_{(i,j) \in P} \sum_{m \in K} x_{ij}^{km} + \sum_{m \in K, m \neq k} x_{ij}^{km} \leq \lambda_k y_k, \quad \forall k \in K \quad (3.69)$$

$$y_k \in \{0,1\}, \quad \forall k \in K \quad (3.70)$$

$$w_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall (i,j) \in P \quad (3.71)$$

$$x_{ij}^{km} \in \{0,1\}, \quad \forall (i,j) \in P, (k,m) \in K^2 \quad (3.72)$$

Esse tipo de formulação traz consigo problemas relacionados à utilização de variáveis binárias, inerentes aos problemas de localização do tipo *hub*: a explosão do número de variáveis binárias na medida em que o problema cresce. Isso torna o problema difícil de ser resolvido em um tempo computacional aceitável e, por essa razão, essa formulação, em geral, é inviável para instâncias reais (Arnold *et al.*, 2004).

Arnold *et al.* (2004), com o objetivo de localizar terminais intermodais rodo-ferroviários para otimizar o escoamento de produtos pela Península Ibérica, desenvolveram uma nova formulação, desta vez com um número bastante reduzido de variáveis binárias. A proposta foi utilizar a teoria dos grafos para representação do problema. Cada rede, uma rodoviária e outra ferroviária, foi representada como sendo um grafo orientado $G_i(V_i, E_i)$, $i = 1, 2$, onde V_i representa o conjunto de nós da rede i e E_i o conjunto de arcos e da rede i . A rede 1 pode se ligar fisicamente com a rede 2 por meio de um arco, utilizando-se o conceito de hipergrafo, onde $G = (V, E)$, sendo $V = V_1 \cup V_2 \cup V'$ e $E = E_1 \cup E_2 \cup E' \cup E^t$. E^t é o conjunto de arcos e de transferência que ligam um grafo a outro, E' é o conjunto de arcos e que permite a chegada do fluxo de produção a uma das redes (1 ou 2) e V' é o conjunto de nós que fazem par com os nós da rede formando um arco pertencente ao conjunto E' . Há ainda os conjuntos E^+ ,

formado pelos arcos e^+ que saem do vértice i , e o conjunto E^- , formado pelos arcos e^- de chegam ao vértice i . Importante destacar que cada um dos arcos de transferência, assim como em Arnold *et al.* (2001), é a representação de um terminal intermodal.

O modelo se dá por meio de uma função objetivo de minimização e oito conjuntos de restrições.

Parâmetro:

c_{ij}^e = custo incorrido ao percorrer o arco, seja no mesmo modal ou de transferência

Variáveis:

y^e = variável binária que identifica a existência ou não de um arco de transferência e

x_{ij}^e = variável que identifica se para ir de i para j é preciso passar pelo arco e

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in P} \sum_{e \in E} c_{ij}^e x_{ij}^e \quad (3.73)$$

sujeito a:

$$\sum_{e \in E^t} y^e = 2q \quad (3.74)$$

$$\sum_{e \in E^+(i)} x_{ij}^e = 1, \quad \forall (i,j) \in P \quad (3.75)$$

$$\sum_{e \in E^-(k)} x_{ij}^e = \sum_{e \in E^+(k)} x_{ij}^e, \quad \forall (i,j,k \neq (i,j)) \in P \quad (3.76)$$

$$\sum_{e \in E^-(j)} x_{ij}^e = 1, \quad \forall (i,j) \in P \quad (3.78)$$

$$x_{ij}^e \leq y^e, \quad \forall (i,j) \in P, e \in E^t \quad (3.79)$$

$$y^e = y^{-e}, \quad \forall e \in E^t \quad (3.80)$$

$$y^e \in \{0,1\} \quad (3.81)$$

$$x_{ij}^e \geq 0, \quad \forall (i,j) \in P, e \in E \quad (3.82)$$

A função objetivo (3.73) minimiza os custos de transporte e transbordo. A primeira restrição (3.74) garante que apenas q terminais serão instalados. Cada terminal intermodal é composto por dois arcos, pois é possível a movimentação de carga nos dois sentidos. Por essa razão, q deve ser multiplicado por 2. As três restrições

seguintes (3.75), (3.76) e (3.77) garantem as condições de fluxo do sistema e a restrição (3.78), que só haverá fluxo em um determinado terminal intermodal se este for aberto. A restrição (3.79) impõe que cada terminal intermodal aberto permita fluxos nos dois sentidos, direto e reverso, ao mesmo tempo. Por fim, as duas últimas restrições (3.80) e (3.81) definem os domínios das variáveis.

Como já foi dito e é possível perceber com os trabalhos que foram apresentados nesta seção, os problemas que levam em consideração decisões estratégicas de modificação física do sistema estudado, como a localização de terminais, armazéns, novas instalações de produção, etc., trabalham com decisões que implicam grandes investimentos. Por essa razão, é importante considerar o maior número de parâmetros possível, tentando garantir a melhor representação da realidade, visto que vários aspectos qualitativos já não poderão ser incorporados. No entanto, é preciso lembrar que, no geral, quanto mais detalhes do sistema real o modelo incorpora, mais recursos computacionais são necessários para que se obtenha sua solução ótima em tempo aceitável.

A forma como Arnold *et al.* (2004) apresentaram e formularam o problema da localização de terminais intermodais parece ter bom potencial para ser aplicada no problema de escoamento da soja brasileira destinada à exportação, objeto do presente trabalho. Com base no que foi apresentado no capítulo 2 sobre o escoamento da produção de soja da região Centro-Oeste do Brasil, e no que foi apresentado nas seções anteriores deste capítulo sobre a revisão de literatura, a formulação proposta em Arnold *et al.* (2004) foi utilizada como base para o desenvolvimento do modelo de localização de instalações utilizado nesta pesquisa, apresentado no próximo capítulo.

CAPÍTULO 4 – Modelagem

Conforme mencionado no capítulo anterior, o modelo utilizado por Arnold *et al.* (2004) para a localização de terminais intermodais na Península Ibérica mostrou ter potencial para representar o transporte de soja no Brasil. No entanto, foi preciso fazer algumas adaptações para que essa formulação passasse a representar, de forma mais realista, as questões inerentes ao transporte de soja no Brasil. O objetivo da próxima seção é apresentar de forma detalhada as adaptações que foram feitas no modelo.

4.1. Adaptações do modelo

Algumas características do modelo original de Arnold *et al.* (2004) são importantes de serem destacadas para que seja possível a melhor visualização das adaptações que foram feitas. As principais são descritas a seguir.

- O modelo original foi formulado para transportar “pacotes” unitários, isto é, a formulação não apóia decisões de quantidade de fluxo, mas apenas de localização de terminais;
- O modelo original é do tipo origem-destino. Por meio de uma função objetivo de minimização de custos de transporte e transbordo, o objetivo é identificar, dentre as rotas disponíveis para o transporte, a mais econômica para levar um “pacote unitário” de um ponto de origem a um ponto de destino, sendo transbordado ou não em um ponto intermediário. Visto que a função objetivo considera os custos de transbordo, o modelo está considerando o *trade-off* entre abrir terminais intermodais, para fazer uso de uma rota intermodal mais econômica, versus o uso de uma rota monomodal menos econômica;

- No modelo original não são consideradas restrições de capacidade nas vias e nos terminais intermodais. Já que os autores trabalham com fluxos homogêneos, não faz sentido contemplar essas restrições;
- No modelo original são considerados apenas dois modais de transporte: rodoviário e ferroviário.

De uma forma geral, é possível dizer que os autores estavam interessados em determinar apenas a localização ótima de terminais intermodais, sem levar em consideração decisões de fluxos de produtos, visto que consideraram fluxos homogêneos e não contemplaram restrições relativas às capacidades.

Como resultado do estudo feito na Península Ibérica, os autores observaram que os custos do transporte de carga na Europa, assim como o crescimento da utilização do transporte rodoviário nos últimos anos, são particularmente influenciados pelo uso do transporte ferroviário de forma eficiente. Isso inclui decisões relativas às diferenças encontradas entre as vias férreas de um país para o outro, e à utilização da intermodalidade como forma de garantir essa eficiência.

Arnold *et al.* (2004) tinham, dentre outros objetivos, o interesse de mostrar os impactos que a intermodalidade, com base na localização ótima da infraestrutura necessária, poderiam provocar no transporte de carga na Península Ibérica, e quais as conseqüências disso para o continente europeu como um todo. Partindo daí, pareceu interessante mostrar quais os impactos da intermodalidade no escoamento da soja brasileira destinada à exportação. Para isso, as características da formulação apresentadas anteriormente foram tomadas como ponto de partida para modificar o modelo original de acordo com os requisitos do problema do presente estudo.

O modelo modificado passou a considerar as seguintes questões:

- É importante para o problema da soja considerar as quantidades de fluxos do produto. Além da identificação da melhor rota, é importante saber quanto da produção de cada origem é transportada para cada destino. Essas quantidades são decisões do modelo modificado. Além disso, o modelo deixou de ser do tipo origem-destino, para ser do tipo oferta-demanda. Dessa forma, passou a ser possível o particionamento dos volumes transportados. Em termos práticos, essa adaptação permitiu, por

exemplo, que a produção de soja do município de Sorriso – MT pudesse ser escoada, parte por uma rota que levasse ao Porto de Santos, parte por outra para o Porto de Paranaguá;

- Em virtude da incorporação das decisões de fluxo no modelo modificado, passou a ser importante considerar restrições de capacidade nas vias e nos terminais intermodais;
- Para o transporte da soja brasileira, foram considerados três modais de transporte no modelo modificado: rodoviário, ferroviário e aquaviário, sendo o transporte aquaviário subdividido em hidroviário (rios, lagos, canais) e marítimo, visto que os destinos estão fora do país e há troca de modal nos portos. Por exemplo, no Porto de Santarém, há troca de carga entre barcaças e navios que seguirão pelo oceano

Cada rede (rodoviária, ferroviária, hidroviária e marítima) continuou sendo representada por um grafo orientado $G(V_i, A_i)$, sendo $i = 1, 2, 3, 4$ e, V_i e A_i , os conjuntos de nós e arcos das redes rodoviária, ferroviária, hidroviária e marítima.

São definidos ainda os seguintes conjuntos:

$$A = A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4 \cup A' \cup T$$

$$V = V_1 \cup V_2 \cup V_3 \cup V_4 \cup O \cup D$$

Onde:

$$A' = A'_{1O} \cup A'_{4D}$$

$$T = T_{12} \cup T_{21} \cup T_{13} \cup T_{31} \cup T_{23} \cup T_{32} \cup T_{14} \cup T_{24} \cup T_{34}$$

Sendo O e D os conjuntos dos nós de origem e destino, A' o conjunto formado pelo conjunto dos arcos de ligam os nós de origem a nós da rede rodoviária (A'_{1O}) e pelo conjunto dos arcos que ligam os nós da rede marítima aos nós de destino (A'_{4D}), e T o conjunto dos arcos de transbordo entre os diversos modais 1, 2, 3 e 4.

Dessa forma, o modelo foi reescrito da seguinte maneira.

Parâmetros:

c_{ij} = custo unitário do arco $(i, j) \in A$, sendo ele de transporte ou transbordo

d_{ij} = custo fixo de instalação de um terminal intermodal no arco $(i, j) \in T$

p = número de terminais intermodais a serem instalados

a_i = quantidade ofertada na origem $i \in O$

b_j = quantidade demandada no destino $j \in D$

u_{ij} = capacidade do terminal intermodal instalado no arco $(i, j) \in T$

Variáveis:

x_{ij} = fluxo de soja que no arco $(i, j) \in A$

y_{ij} = variável binária que indica a instalação ou não do terminal intermodal no arco $(i, j) \in T$

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} + \sum_{(i,j) \in T} d_{ij} y_{ij} \quad (4.1)$$

sujeito a:

$$\sum_{(i,j) \in T} y_{ij} = p \quad (4.2)$$

$$\sum_{j|(i,j) \in A'_{1O}} x_{ij} \leq a_i, \quad \forall i \in O \quad (4.3)$$

$$\sum_{i|(i,k) \in A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4 \cup T} x_{ik} = \sum_{j|(k,j) \in A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup A_4 \cup T} x_{kj}, \quad \forall k \in V \setminus \{O, U, D\} \quad (4.4)$$

$$\sum_{i|(i,j) \in A'_{4D}} x_{ij} = b_j, \quad \forall j \in D \quad (4.5)$$

$$x_{ij} \leq u_{ij} y_{ij}, \quad \forall (i, j) \in T \quad (4.6)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall (i, j) \in A \quad (4.7)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall (i, j) \in T \quad (4.8)$$

O número p de terminais foi mantido, mas não é mais multiplicado por 2 para indicar a possibilidade dos fluxos direto e, como no modelo original de Arnold *et al.* (2004), reverso. Para os primeiros testes realizados, os fluxos da soja seguem, no geral, uma tendência de caminho que não se faz mais necessário o fluxo reverso. Por isso, por simplificação, a restrição (4.2) impõe que apenas p terminais intermodais podem ser instalados. As restrições (4.3), (4.4) e (4.5) consideram o balanço entre oferta e demanda do sistema, bem como o balanço em cada terminal intermodal. A restrição (4.6) garante que só haverá fluxo passando pelo terminal se este for aberto e se forem

respeitados os limites de capacidade do mesmo. Por fim, as restrições (4.7) e (4.8) indicam os domínios das variáveis de fluxo e de instalação de terminal.

Os primeiros testes para verificar a consistência do modelo adaptado foram realizados com dados do estudo do GEIPOT, realizado em 2000. Nas seções seguintes estão uma breve descrição do GEIPOT e de suas atividades, o detalhamento do projeto de onde foram retirados os dados para os testes com o modelo e os resultados desses primeiros testes. Como não há dados a respeito dos custos fixos de instalação de terminais intermodais, a segunda parcela da função objetivo foi desconsiderada. Dessa forma, para efeito de análise dos problemas, o custo de instalação do terminal foi considerado nulo para todos os terminais (i.e., $d_{ij} = 0, \forall (i, j) \in T$). As análises então foram feitas com base apenas nos custos variáveis do modelo, isto é, nos custos de transporte e transbordo (i.e., $c_{ij}, \forall (i, j) \in A$).

4.2. GEIPOT

O GEIPOT foi criado em 1965 e era formado pelos Ministros da Viação e Obras Públicas, de Estado da Fazenda, Extraordinário para o Planejamento e Coordenação Econômica e pelo Chefe de Estado Maior das Forças Armadas. Já em 1969, o grupo se transformou em Grupo de Estudos para Integração da Política de Transportes, passando a ser subordinado ao Ministério dos Transportes.

Era estabelecido como objetivo do GEIPOT “prestar apoio técnico e administrativo aos órgãos do Poder Executivo que tenham atribuições de formular, orientar, coordenar e executar a política nacional de transportes nos seus diversos modais, bem como promover, executar e coordenar atividades de estudos e pesquisas necessários ao planejamento de transportes no país”. Em 2001, com a criação do CONIT (Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transportes Terrestres), da ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários), da ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres) e do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), o GEIPOT entrou em processo de liquidação.

Enquanto estava em atividade, o GEIPOT auxiliava o Poder Executivo na formulação e na avaliação das políticas públicas para o setor de transportes. Reuniu pessoal qualificado e contava com um importante acervo de informações. Desenvolveu, ao longo dos anos, projetos em todo o Brasil que iam, desde estudos relacionados ao

transporte escolar rural nos estados brasileiros, até outros que tinham o objetivo de verificar o desempenho operacional dos serviços portuários.

Em 2000, o GEIPOT realizou um estudo cujo título era “Corredores Estratégicos de Desenvolvimento: Alternativas de escoamento de Soja para Exportação”(GEIPOT, 2001) Como parte deste estudo, foi confeccionado um relatório que mostrou as principais rotas de escoamento da soja brasileira naquele ano e para o cenário futuro de 2015, considerando para isso um aumento significativo da produção nacional do grão.

4.3. Descrição do estudo

O estudo “Corredores Estratégicos de Desenvolvimento” teve o objetivo principal de identificar os principais pólos produtores de soja no Brasil e indicar as melhores rotas para o escoamento dessa soja, levando em consideração os gastos do país com frete e combustível, e também que os destinos seriam portos localizados no exterior.

Também se propôs a identificar as modalidades de transporte que pudessem ser utilizadas no transporte da soja, para incentivar a prática da intermodalidade e promover a competitividade da soja brasileira no mercado internacional. Os profissionais responsáveis pelo projeto visavam fornecer ao governo um estudo capaz de oferecer informações que orientassem as políticas de investimento no setor de transporte, principalmente no que diz respeito à infraestrutura para exportação de produtos.

Para a determinação das rotas principais, o GEIPOT fez uso do que chamou de “instrumento matemático multiproduto e multimodal”, desenvolvido em parceria com a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e a Universidade de Montreal, no Canadá. O modelo não foi apresentado no relatório, mas segundo descrição, era capaz de operar com 12 produtos e até 30 modais de transporte, cujos resultados eram apresentados na forma de custos operacionais ou frete, mais dispêndios energéticos (combustíveis).

Algumas considerações foram julgadas importantes para o entendimento do estudo e são apresentadas a seguir.

1. Os dados de produção (oferta) são referentes ao ano de 1999, disponibilizados pelo IBGE, e foram projetados para os anos 2000 e 2015;
2. Foram desconsiderados os estados do Paraná e do Rio Grande do Sul, visto que já se utilizam das rotas mais baratas para escoamento;
3. De toda soja produzida, foi admitido que 6% eram destinados ao consumo interno. O restante foi considerado como sendo exportado para os portos de Shangai (China) e Rotterdam (Holanda). Para o cenário de 2000, 80% são destinados a Shangai e 20% a Rotterdam, enquanto para o cenário de 2015, 60% para Shangai e 40% para Rotterdam;
4. Foram consideradas novas rotas para o cenário de 2015, baseando-se nas recomendações de novos projetos e na identificação de novas alternativas de escoamento, em função dos investimentos futuros, tanto do governo quanto da iniciativa privada.

A Figura 4.1 foi retirada do relatório do GEIPOT e mostra as principais áreas concentradoras da produção brasileira de soja. Como é possível observar, a maior concentração está na região Centro-Oeste do país.

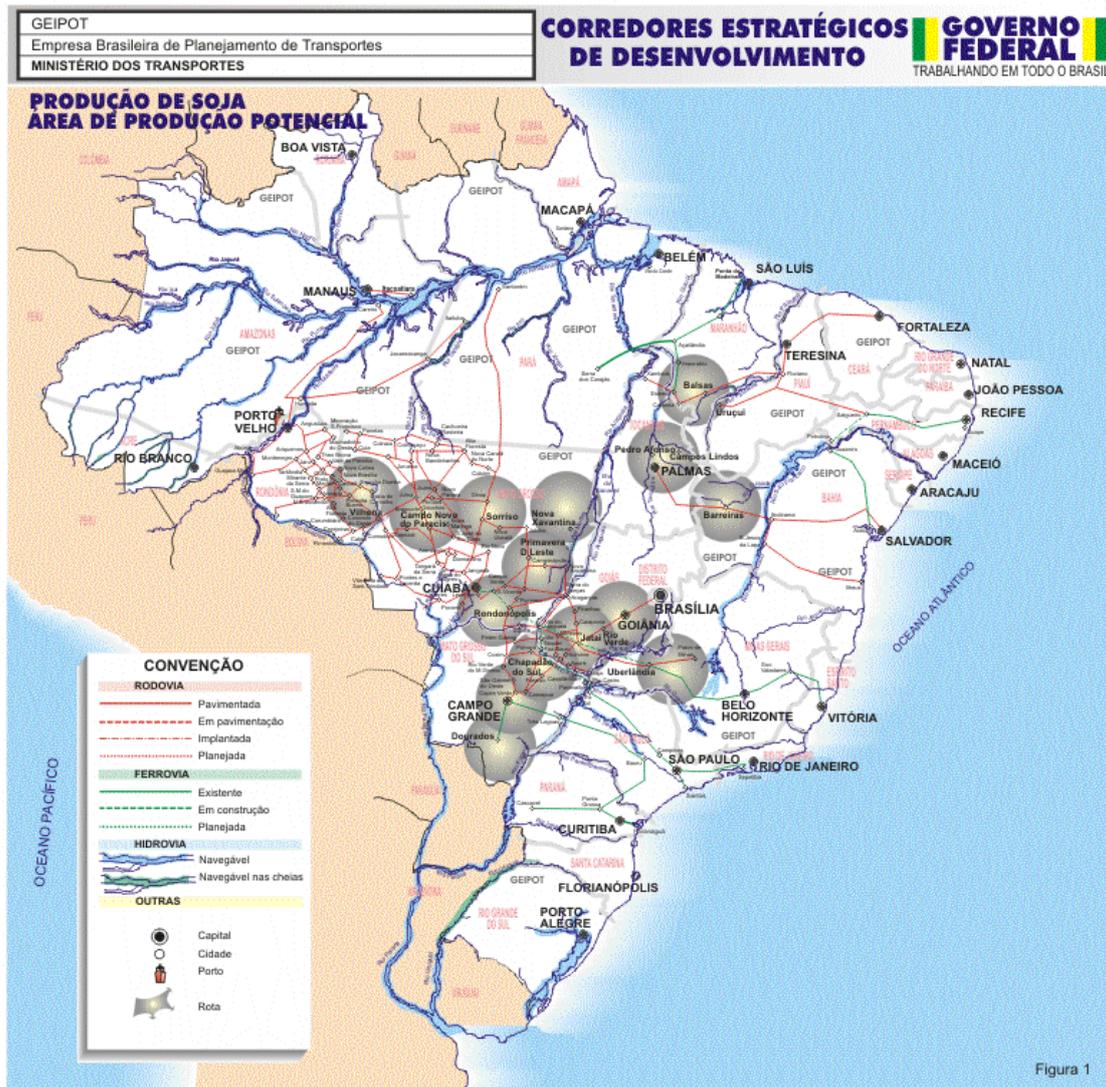


Figura 4.1: Mapa dos centros produtores de soja

Fonte: GEI POT (2001)

Os principais pólos produtores no ano e os volumes produzidos projetados para os anos de 2000 e 2015 estão apresentados na Tabela 4.1.

ESTADO	PÓLO	PRODUÇÃO (1000t)	
		2000	2015
MT	Campo Novo do Parecis	2947,00	7745,10
MT	Sorriso	2222,70	5841,10
MT	Primavera do Leste	1643,00	4320,20
MT	Rondonópolis	1336,70	2949,60
MT	Nova Xavantina	242,70	539,20
GO	Goiânia	460,60	1799,60
GO	Rio Verde	3463,60	12878,50
BA	Barreiras	1524,50	4808,70
MA/PI	Balsas	511,20	3795,00
MS	Chapadão do Sul	564,50	1421,50
MS	Campo Grande	424,30	1068,60
MS	Dourados	1248,10	3143,20
MG	Uberlândia	716,90	923,90
TO	Palmas	92,70	2006,30
RO	Vilhena	33,70	4511,20
TOTAL		17432,20	57751,70

Tabela 4.1: Volume de soja produzido por pólo

Fonte: GEIPOT (2001)

Com as projeções de produção, foi possível determinar as melhores rotas por meio do modelo desenvolvido pelos profissionais envolvidos no projeto. A Figura 4.2 mostra dois mapas: um com as rotas para a soja do Mato Grosso em 2000 e outro com as rotas para 2015.

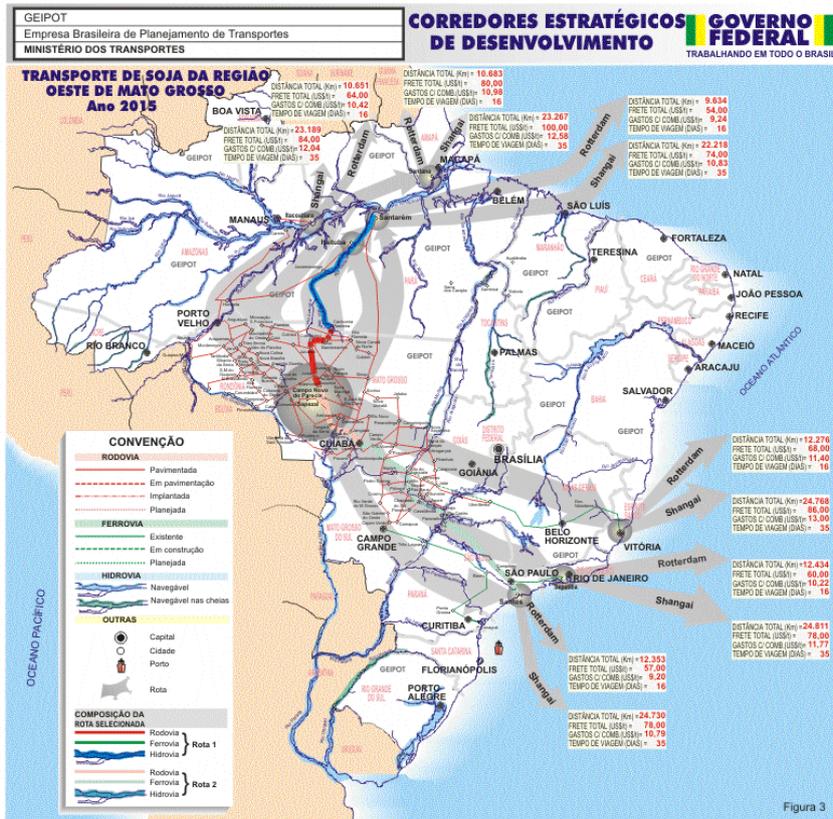
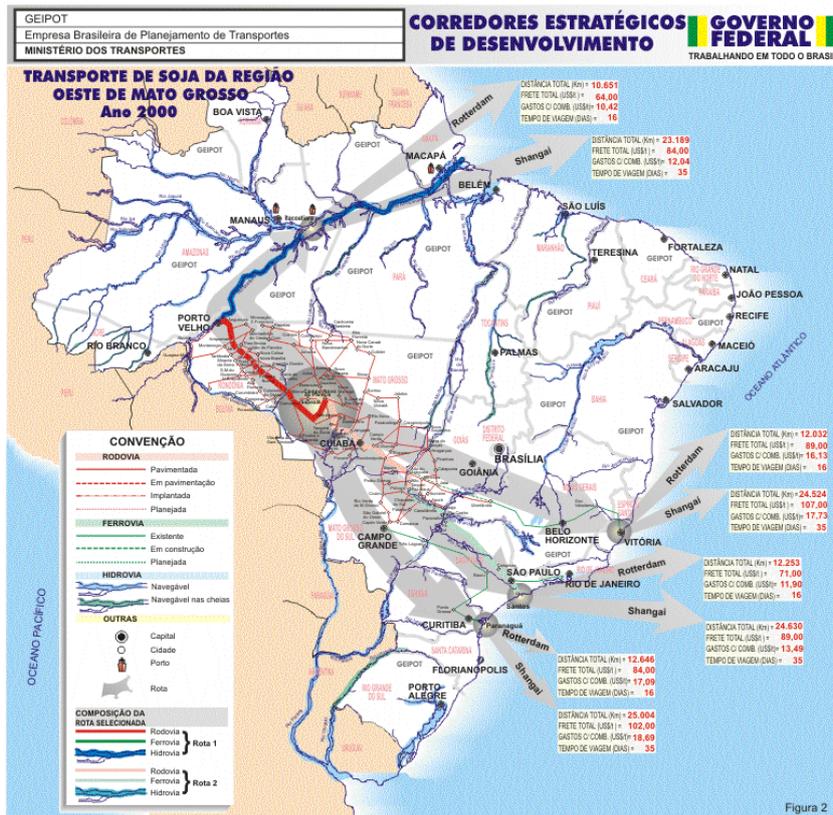


Figura 4.2: Mapas com as rotas para escoamento da soja matogrossense (2000 e 2015)

Fonte: GEIPOP (2001)

Como é possível perceber, em 2000, apenas uma pequena parte da produção era exportada via portos da região Norte do país. Segundo os dados do GEIPOT, a falta de uma infraestrutura adequada (rodovias não pavimentadas, ausência de ferrovias, etc) impossibilitava o tráfego de cargas por aquela região. Os produtos acabavam sendo escoados principalmente pelos portos de Santos e Paranaguá, provocando grandes congestionamentos nos períodos de safra. Para 2015, o GEIPOT considerou a existência de novas rotas para um grande aumento dos volumes de soja produzidos. O mapa mostra novas rotas nas regiões Norte e Nordeste e a utilização de novos portos, como o Porto de Itaqui, no Maranhão e o de Santarém, no Pará.

4.4. Testes preliminares

Os primeiros testes computacionais com o modelo adaptado foram feitos com base no estudo do GEIPOT sobre os corredores de exportação de soja no Brasil. As informações do estudo serviram como parâmetros para o modelo. Apenas as informações sobre as capacidades dos terminais, não consideradas no estudo do GEIPOT, foram obtidas dos bandos de dados das agências reguladoras, como ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres) e ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários).

Também foi necessário determinar os pontos candidatos a terminais intermodais. A idéia foi considerar as cidades que faziam parte de cada rota como candidatas a terminais. É importante lembrar que os portos também são considerados terminais intermodais, visto que envolvem troca de modais para os destinos finais, que são no exterior.

Os testes foram realizados em um microcomputador Core2 Duo 2.0, 2 Gb RAM, sistema operacional Windows Vista Premium, utilizando-se o *software* livre de otimização GNU GLPK e a linguagem de modelagem AMPL (FOURER E GAY, 2002) com o *solver* CPLEX.

4.5. Resultados

Esta seção é dedicada a mostrar os resultados das primeiras aplicações do modelo reformulado. O principal objetivo foi testar a capacidade da nova formulação em representar a realidade do escoamento da soja brasileira destinada à exportação. Os resultados oferecidos no estudo do GEIPOT serviram não só de parâmetros, como

também de base para verificação da adequação do modelo à realidade que se deseja representar. A maior parte desses resultados foi reportada recentemente em Amaral *et al.* (2009). Além disso, foram feitos testes com instâncias aleatórias para avaliar o desempenho computacional do modelo. Os resultados destes testes não serão apresentados aqui, mas podem ser vistos em Amaral *et al.* (2010).

Nas tabelas a seguir (Tabelas 4.2 e 4.3) estão os municípios considerados nos testes (concentradores de produção e candidatos a terminais intermodais), tanto para a rede de 2000 quanto pra 2015, bem como os países de destino da soja.

ORIGEM	TRANSBORDO	DESTINO
Campo Novo do Parecis - MT	Itacoatiara - AM	Shangai - China
Nova Xavantina - MT	Estreito - MA	Rotterdam - Holanda
Primavera do Leste - MT	Itaqui - MA	
Rodonópolis - MT	Xambioá - TO	
Sorriso - MT	Porto Velho - RO	
Goiânia - GO	Alto Taquari - MT	
Rio Verde - GO	Nova Xavantina - MT	
Uberlândia - MG	Goiânia - GO	
Campo Grande - MS	São Simão - GO	
Chapadão do Sul - MS	Uberlândia - MG	
Dourados - MS	Vitória - ES	
	Campo Grande - MS	
	Chapadão do Sul - MS	
	Botucatu - SP	
	Santos - SP	
	Cascavel - PR	
	Ponta Grossa - PR	
	Paranaguá - PR	

Tabela 4.2: Municípios produtores e candidatos a pontos de transbordo e países de destino (2000)

ORIGEM	TRANSBORDO	DESTINO
Campo Novo do Parecis - MT	Itacoatiara - AM	Shangai - China
Nova Xavantina - MT	Porto de Santana - AP	Rotterdam - Holanda
Primavera do Leste - MT	Itaituba - PA	
Rodonópolis - MT	Santarém - PA	
Sorriso - MT	Vila do Conde - PA	
Goiânia - GO	Estreito - MA	
Rio Verde - GO	Itaqui - MA	
Uberlândia - MG	Xambioá - TO	
Campo Grande - MS	Porto Velho - RO	
Chapadão do Sul - MS	Alto Araguaia - MT	
Dourados - MS	Alto Taquari - MT	
	Campo Novo do Parecis - MT	
	Cachoeira Rasteira - MT	
	Cuiabá - MT	
	Primavera do Leste - MT	
	Rodonópolis - MT	
	Nova Xavantina - MT	
	Sorriso - MT	
	Barra do Garça - MT	
	Ceres - GO	
	Goiânia - GO	
	Rio Verde - GO	
	São Simão - GO	
	Uberlândia - MG	
	Vitória - ES	
	Sepetiba - RJ	
	Campo Grande - MS	
	Chapadão do Sul - MS	
	Dourados - MS	
	Botucatu - SP	
	São Paulo - SP	
	Santos - SP	
	Cascavel - PR	
	Paranaguá - PR	

Tabela 4.3: Municípios produtores e candidatos a pontos de transbordo e países de destino (2015)

As tabelas diferem apenas na coluna dos pontos de transbordo. Para 2015, foram previstas novas possibilidades de rotas e, por essa razão, são considerados vários municípios candidatos a terminais intermodais que não foram considerados para os testes de 2000. A Figura 4.3 a seguir representa os pontos considerados nas redes de 2000 e 2015. O traço cheio representa a rede de 2000 e, o tracejado, as novas rotas consideradas em 2015.

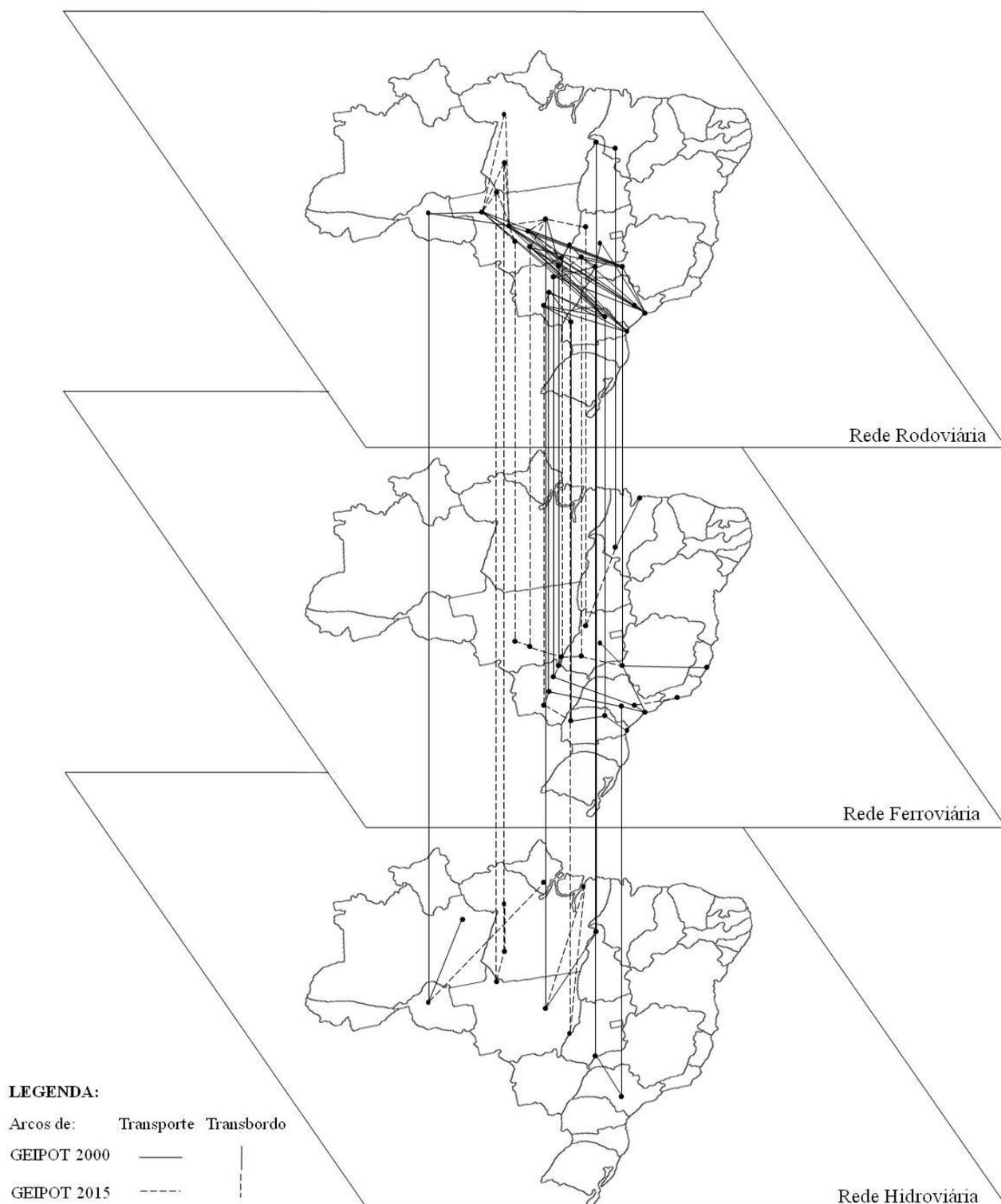


Figura 4.3: Mapa multinível com os pontos considerados nas redes de 2000 e 2015

Como é possível perceber, em 2015, são consideradas novas rotas ligando a região Centro-Oeste às regiões Norte e Nordeste do país. É possível observar também uma grande concentração de rodovias, em comparação com as ferrovias e

hidrovias. Apesar do crescimento da malha ferroviária, o Brasil ainda apresenta uma baixa densidade (km de ferrovias/área do país em m^2), em relação a países como Alemanha e Argentina (Barros e Lobo, 2009).

4.5.1. Rede GEIPOT em 2000

Variou-se o valor de p no modelo para $p = 1, 2, \dots, 20$, até atingir o número ótimo de terminais intermodais, em suas localizações. Como já foi dito, os portos também são considerados terminais intermodais, visto que os destinos estão fora do país. É importante observar que para que o porto receba carga por um determinado modal, há de se abrir um novo terminal. Isso quer dizer que se o Porto de Santos permite descarregar tanto caminhões quanto trens, dois terminais precisam ser abertos. Para efeitos de modelagem e seguindo considerações do GEIPOT, foram considerados quatro modais de transporte: rodoviário, ferroviário, hidroviário e marítimo de longo curso (para diferenciar do hidroviário por meio de rios, lagos e canais).

O estudo do GEIPOT não considera restrições de capacidade nas vias ou terminais intermodais. Por essa razão, os primeiros testes com o modelo também não consideram tais capacidades. Por simplificação, o valor da capacidade u_{ij} na restrição (4.6) assumiu o valor da demanda total, o que permite que o volume de soja necessário para atender à demanda tenha condições de fluir através da rede.

É importante mencionar que a não consideração de restrições de capacidade, bem como dos custos fixos incorridos na instalação dos terminais, faz com que a indicação do número ótimo de terminais intermodais que devem ser instalados não seja conclusiva. O modelo dá apenas uma indicação de solução, cabendo ao tomador de decisão considerar e respeitar as capacidades existentes e todos os outros custos envolvidos.

Os primeiros resultados mostraram que para que fosse possível escoar toda a produção destinada à exportação, seriam necessários, ao menos, $p = 4$ terminais intermodais instalados. Eles seriam: Alto Taquari - MT, Paranaguá - PR, Santos - SP (rodoviário) e Santos - SP (ferroviário). Na medida em que o valor do parâmetro p vai sendo aumentado no modelo, vão sendo feitas inclusões e/ou trocas entre os terminais instalados para melhor aproveitamento da malha e em prol da minimização dos custos. Convém lembrar que a análise não considera diretamente os custos fixos destes

terminais instalados. Note, entretanto, que isso poderia ser considerado com o termo de custos fixos na função objetivo (4.1) do modelo.

O gráfico da Figura 4.4 mostra a relação entre os custos variáveis de transporte e transbordo (embarque nos portos) e o número de terminais intermodais instalados. Observe que $p = 15$ representa o menor número de terminais instalados para se atingir o custo variável mínimo, aqui denominado número ótimo.

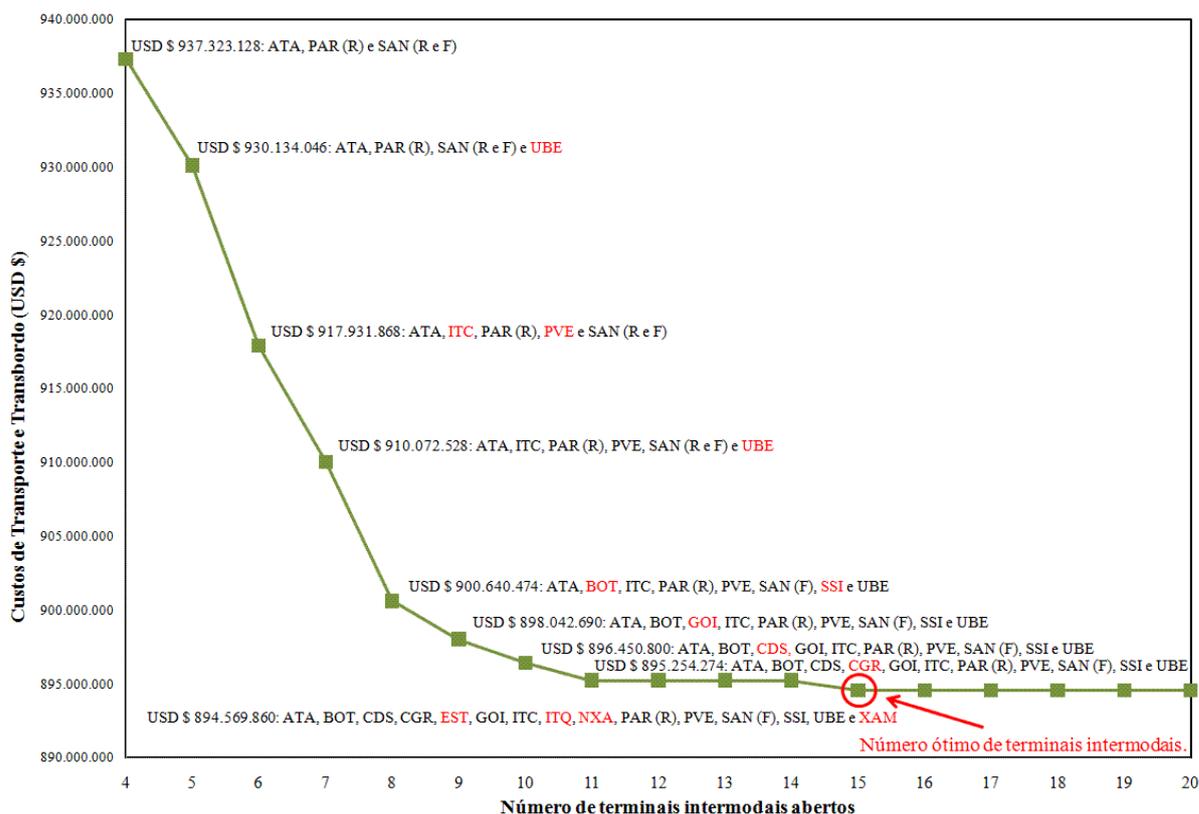


Figura 4.4: Custos x N° de terminais intermodais instalados em 2000

Os municípios destacados na figura em vermelho são os que foram alterados de um teste para o outro. O número ótimo de terminais indicado pelo modelo foi 15. Os terminais instalados seriam: Alto Taquari – MT, Botucatu – SP, Chapadão do Sul – MS, Campo Grande – MS, Estreito – MA, Goiânia – GO, Itacoatiara – AM, Itaquí – MA, Nova Xavantina – MT, Paranaguá – PR (rodoviário), Porto Velho – RO, Santos – SP (ferroviário), São Simão – GO, Uberlândia – MG e Xambioá – TO.

O mapa da Figura 4.5 mostra os fluxos de soja e as rotas utilizadas. As rotas escolhidas, como era esperado, coincidem com as do GEIPOT, o que valida os resultados obtidos pelo modelo.

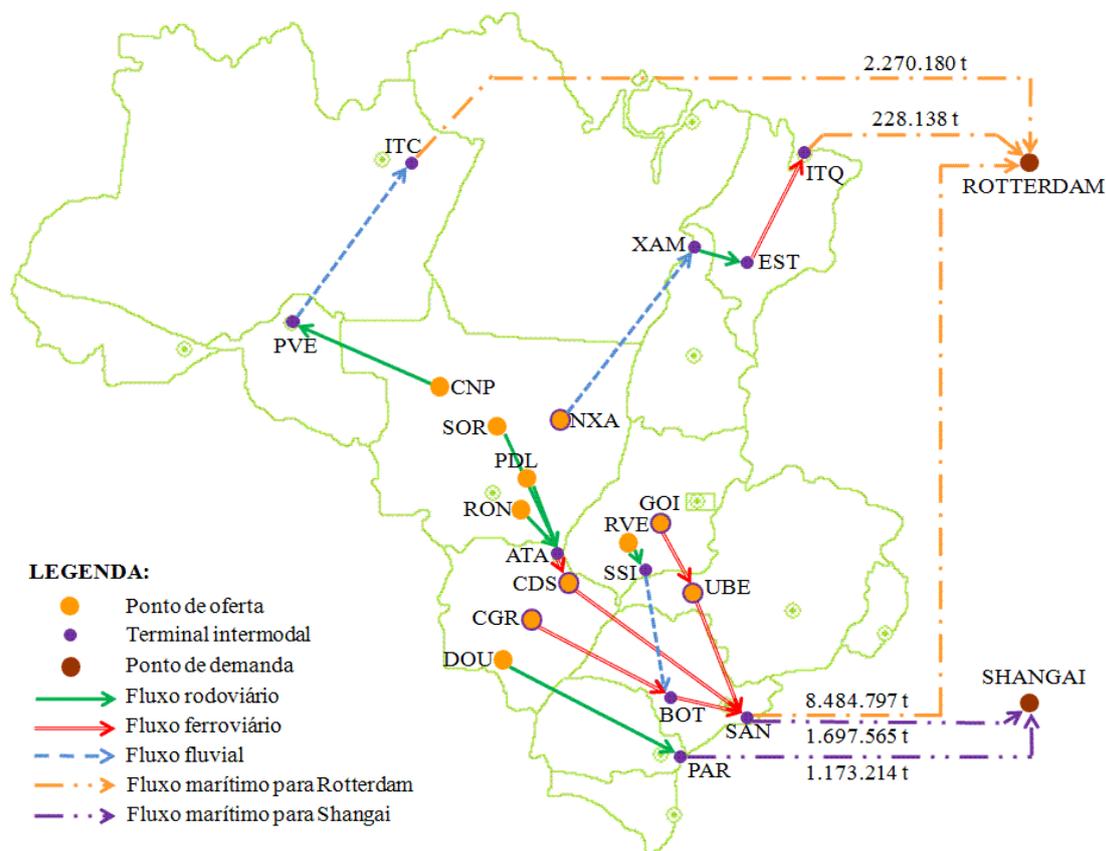


Figura 4.5: Fluxos e rotas da soja para a rede 2000

Fonte: Amaral *et al.* (2009)

A maior parte da soja produzida nos pólos concentradores de produção é escoada via os portos de Santos e Paranaguá. Apenas uma pequena quantidade de soja dos municípios-pólo de Campo Novo do Parecis e Nova Xavantina, na região Norte do Mato Grosso, é escoada via portos das regiões Norte e Nordeste do país (Itacoatiara e Itaquí).

É interessante destacar que, com $p = 5$ terminais, Uberlândia é indicada para a localização de um terminal rodo-ferroviário e que, quando se permitem $p = 6$ terminais, este terminal não é indicado, dando lugar aos terminais de Porto Velho e Itacoatiara, permitindo o uso de uma rota rodo-hidroviária para o escoamento da oferta de Campo Novo do Parecis. A partir de $p = 8$ terminais, o terminal rodo-marítimo em Santos não foi aberto, permitindo chegadas a esse porto somente por ferrovia. Também foi possível observar que os terminais de Cascavel, Paranaguá (chegada por ferrovia), Ponta Grossa e Vitória, indicados como possibilidades na formação de rotas em GEIPOT (2000), não recebem fluxo em nenhuma das soluções e não houve necessidade de serem abertos.

A escolha dos locais para instalação dos terminais intermodais não é uma decisão trivial. Como um experimento alternativo, foi pedido a um especialista na área, participante de um projeto de mesmo escopo, também financiado pela FINEP, que, sem ter conhecimento dos resultados do modelo, escolhesse 15 dos locais candidatos à instalação de terminais intermodais. Isto é, que ele determinasse uma possível solução para o problema, de posse apenas do mapa da rede de 2000 e das considerações feitas para solução dos primeiros testes.

A solução do especialista resultou em um custo variável de \$906.633.726,00, isto é, pouco mais de 1% superior ao custo encontrado pelo modelo, que foi de \$894.569.860,00. É importante destacar, no entanto, que esse percentual corresponde a um aumento de aproximadamente 12 milhões de dólares no custo variável mínimo determinado pelo modelo. O valor encontrado pelo especialista corresponde, como é possível ver no gráfico da Figura 4.4, ao custo variável de ter entre 7 e 8 terminais intermodais instalados, isto é, uma rede menos interconectada e que aproveita pouco da infraestrutura dos modais disponíveis. Este experimento indica que encontrar a solução ótima para o problema do GEIPOT não é trivial.

Os valores utilizados para os experimentos, como já dito anteriormente, são da base de dados do estudo do GEIPOT. Os resultados mostrados aqui, muito mais do que colocar de forma exata os custos envolvidos e o número de terminais intermodais ideal que deveria ser instalado, ilustra como ferramentas baseadas em PO e otimização possibilitam análises importantes na prática deste problema.

4.5.2. Cenários com restrições de capacidade

a) Porto de Santos

Ao observar os resultados dos primeiros testes com a rede de 2000, é possível perceber que o Porto de Santos é responsável pelo escoamento da maior parte do volume de soja destinada à exportação, algo em torno de 10 milhões de toneladas anuais. Segundo dados da ANTAQ, o Porto de Santos tem capacidade para embarque de cereais entre 600 e 1.500 t/h. Tomando como base a capacidade máxima de 1.500 t/h e multiplicando por 8760 h/ano, conclui-se que o Porto de Santos permitiria o embarque de até 13.140.000 t/ano. Comparando o fluxo dado pelo modelo com a capacidade máxima anual do porto, pode-se dizer que o porto trabalha a uma taxa de utilização média de aproximadamente 77%. (ANTAQ, 2009)

O Porto de Santos não trabalha em sua capacidade máxima durante o ano todo. A capacidade operacional efetiva de um porto pode variar por diferentes razões, que vão desde manutenção preventiva de equipamentos, desbalanceamento de demanda, até imprevistos do dia-a-dia. Partindo desse princípio, pareceu importante verificar o comportamento dos fluxos de soja nesta rede diante de variações na capacidade operacional do porto. Foram gerados cenários variando a capacidade do porto entre 600 e 1050 t/h, em intervalos de 150 t/h, para verificar o comportamento dos fluxos quando o porto opera próximo ou no limite de sua capacidade mínima.

Foi observado que, na medida em que a capacidade operacional do Porto de Santos diminuía, os custos logísticos totais dados pela função objetivo do modelo aumentavam. Isso porque quando o Porto de Santos passou a não comportar mais o volume de soja exportado, os fluxos passaram a ser desviados para outros portos, com um custo total de transporte mais elevado.

Quando a capacidade média de operação em Santos está entre 900 e 1050 t/h, é observado que, com apenas 14 terminais intermodais, já se atinge o valor ótimo da função objetivo. Na solução dada, o terminal de Campo Grande – MS não é instalado. Toda a soja produzida no município é transportada por rodovia para o Porto de Paranaguá. A Figura 4.6 ilustra essa mudança de fluxo.

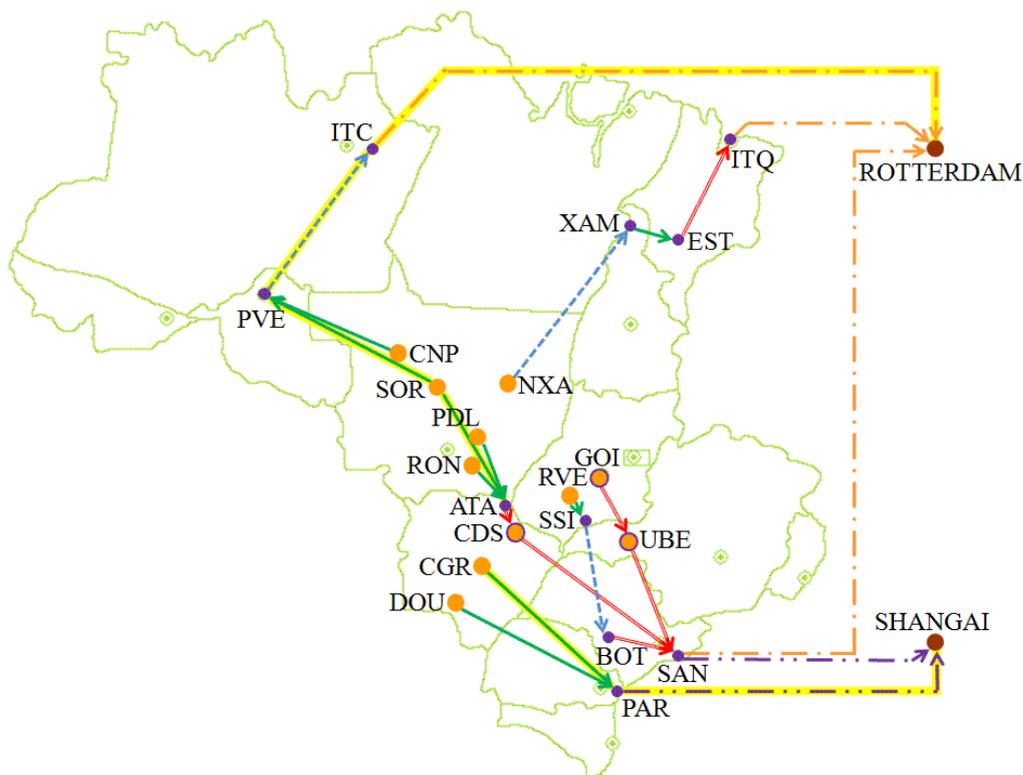


Figura 4.6: Fluxos com a capacidade média do Porto de Santos entre 900 e 1050 t/h

Também é possível observar no mapa que parte da soja produzida no município de Sorriso – MT, passou a ser escoada por rodovia até Porto Velho – RO, e de lá para Rotterdam via Porto de Itacoatiara, no Amazonas. Quando a capacidade do Porto de Santos ficou canalizada entre 600 e 750 t/h, foram observados novos desvios de fluxos que fizeram com o que o custo total aumentasse em aproximadamente 3%.

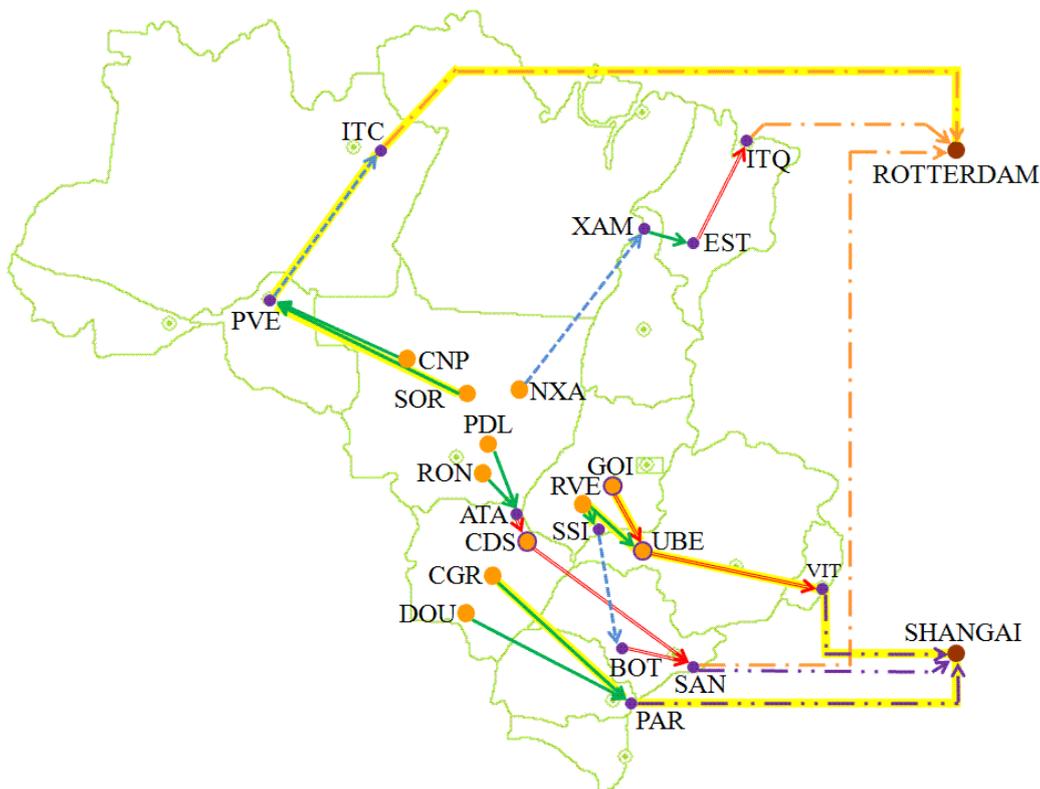


Figura 4.7: Fluxos com capacidade média do Porto de Santos entre 600 e 750 t/h

Como pode ser visto no mapa da Figura 4.7, o Porto de Vitória passou a ser considerado como opção de escoamento, servindo para operar a soja produzida em Goiânia – GO, e parte da soja produzida no município de Rio Verde – GO.

b) Ferronorte

A Ferrovia Norte Brasil SA, a Ferronorte, foi uma empresa criada com o objetivo de ligar Santarém-PA a Porto Velho-RO, passando por Cuiabá e se interligando com o trecho ferroviário que já existia de Santa Fé do Sul-SP até Santos. Até hoje, somente o trecho que liga Alto Araguaia-MT até Aparecida do Taboado - MS foi construído. Como é possível observar no mapa da Figura 4.8, a maior parte ainda está em construção ou em fase de projeto. Desde 2006, a Ferronorte passou a se chamar América Latina Logística Malha Norte SA, quando a América Latina Logística – ALL,

soja de Sorriso é totalmente transportada por rodovia até o Porto de Santos e, para isso, há a abertura de um novo terminal para possibilitar que o Porto de Santos receba essa carga via rodovia. Também é possível observar um desvio de fluxo do município de Chapadão do Sul para São Simão, ou seja, diante da capacidade da ferrovia esgotada, é mais barato levar a soja até o Porto de Santos via a hidrovia São Simão – Pederneiras. Ambos geraram aumentos de menos de 1% no valor da função objetivo.

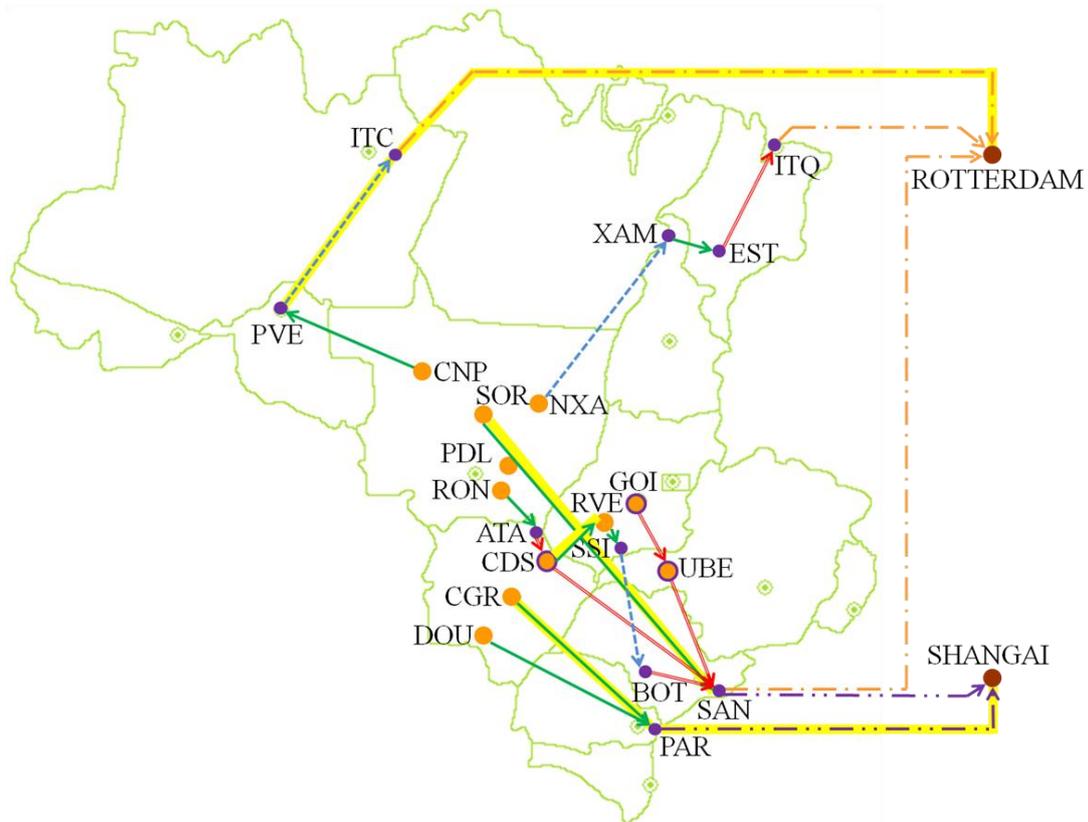


Figura 4.9: Fluxos com a capacidade da Ferronorte menor que 3.222.600 t/ano

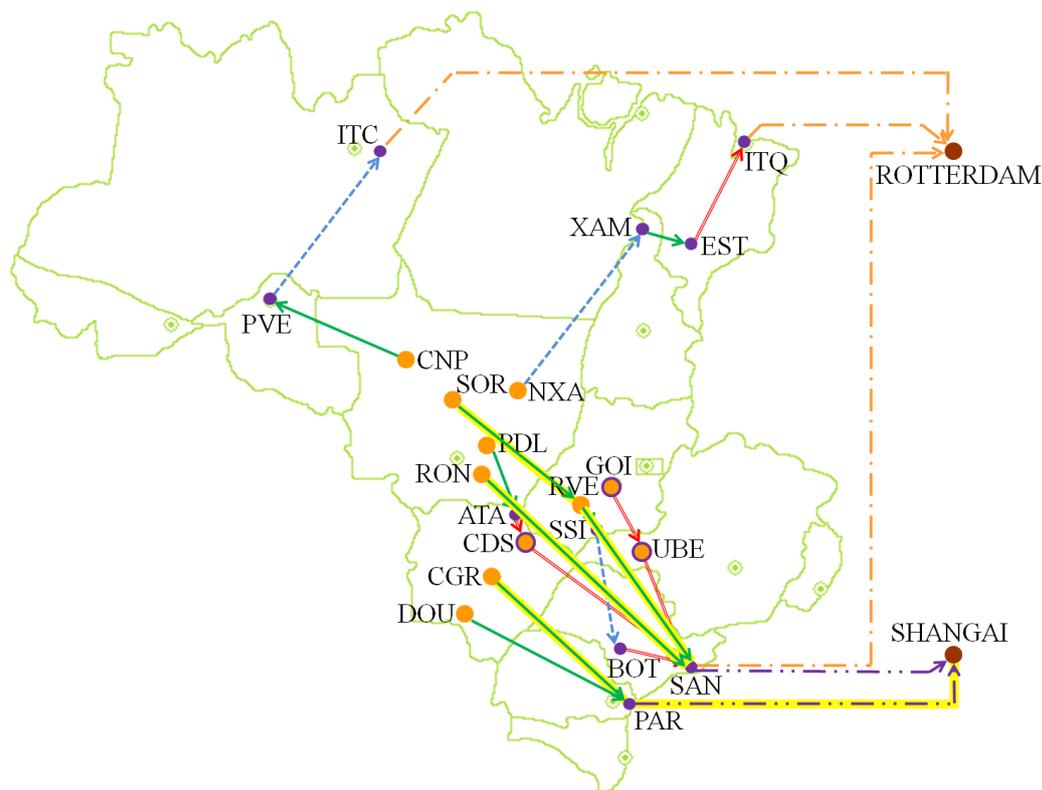


Figura 4.10: Fluxos com a capacidade da Ferronorte menor que 2.241.800 t/ano

Quando foram feitos testes incluindo limitações de capacidade no Porto de Santos e na Ferronorte ao mesmo tempo, os resultados não provocaram mudanças relevantes. A Ferronorte é parte importante nas rotas utilizadas para se chegar da região Norte do país até o Porto de Santos. O que se observou foi que, na medida em que a capacidade do porto diminui, os congestionamentos na Ferronorte diminuem, até chegar a um nível de capacidade do porto que não provocou mais desvios de rota. Isto é, a Ferronorte passou a ser capaz de fluir toda soja necessária para utilizar toda a capacidade disponível no porto.

É importante ressaltar que os testes feitos com restrições de capacidade, ainda que somente em um terminal e um trecho de ferrovia, representam situações mais realistas. É sabido, segundo a literatura dedicada ao transporte de grãos no Brasil, que a maior parte da produção ainda é escoada por rodovia, percorrendo longas distâncias, como é o caso do trajeto Sorriso – Santos.

4.5.3. Rede GEIPOT em 2015

A rede estudada pelo GEIPOT para o cenário de 2015 prevê mudanças importantes nas rotas de escoamento da soja no Brasil. Foram incluídos, principalmente na região Norte do país, novos pontos candidatos a terminal intermodal, partindo do

princípio de que, de acordo com os projetos do governo federal, seria possível integrar de forma eficiente a região Norte no transporte de produtos destinados à exportação.

Como já foi dito na seção 4.3, os cenários do ano de 2015 também consideraram mudanças na demanda por soja brasileira. Foi considerado um grande aumento no volume exportado e um deslocamento da necessidade de Rotterdam para Shanghai. Dessa forma, passou-se a considerar que de toda soja brasileira destinada à exportação, 40% seria destinada a Shanghai e 60% a Rotterdam.

Os primeiros resultados mostraram que para que a solução do problema fosse factível, ou seja, para que a oferta fosse completamente escoada, atingindo toda a demanda, era necessário um número mínimo de 7 terminais intermodais instalados. Para o menor custo variável possível, o número de terminais intermodais passou a ser 13. O gráfico da Figura 4.11 a seguir indica esse número ótimo de terminais, que são: Alto Araguaia – MT, Cachoeira Rasteira – MT, Chapadão do Sul – MS, Dourados – MS, Goiânia – GO, Nova Xavantina – MT, Paranaguá – PR, Rondonópolis – MT, Rio Verde – GO, Santos – SP, Santarém – PA, Uberlândia – MG e Vila do Conde – PA. Para 2015, o GEIPOT previu que quase 40 milhões de toneladas de soja em grão seriam destinados à exportação. O que se observou, no entanto, foi que do ano 2000 até o momento, os volumes de soja em grão produzidos foram menores que os previstos. A produção de soja continua crescendo, mas não como o GEIPOT previu (IBGE, 2009).

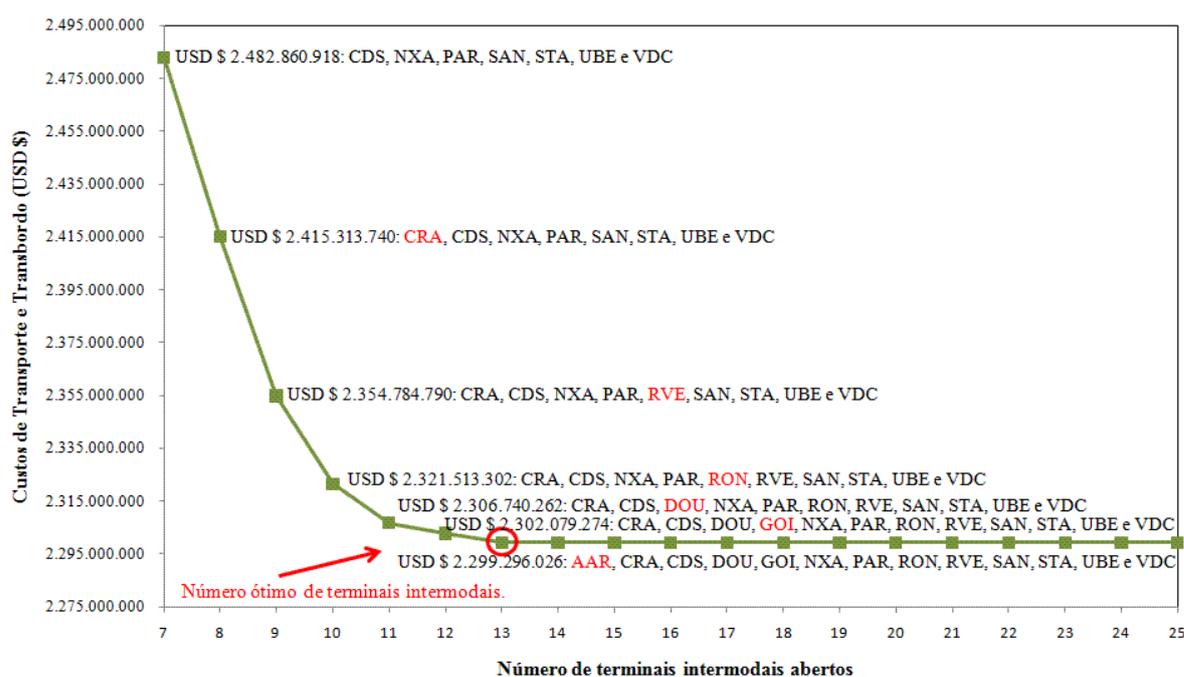


Figura 4.11: Custos x N° de terminais intermodais instalados em 2015

A Figura 4.12 mostra o comportamento dos fluxos de soja em 2015.

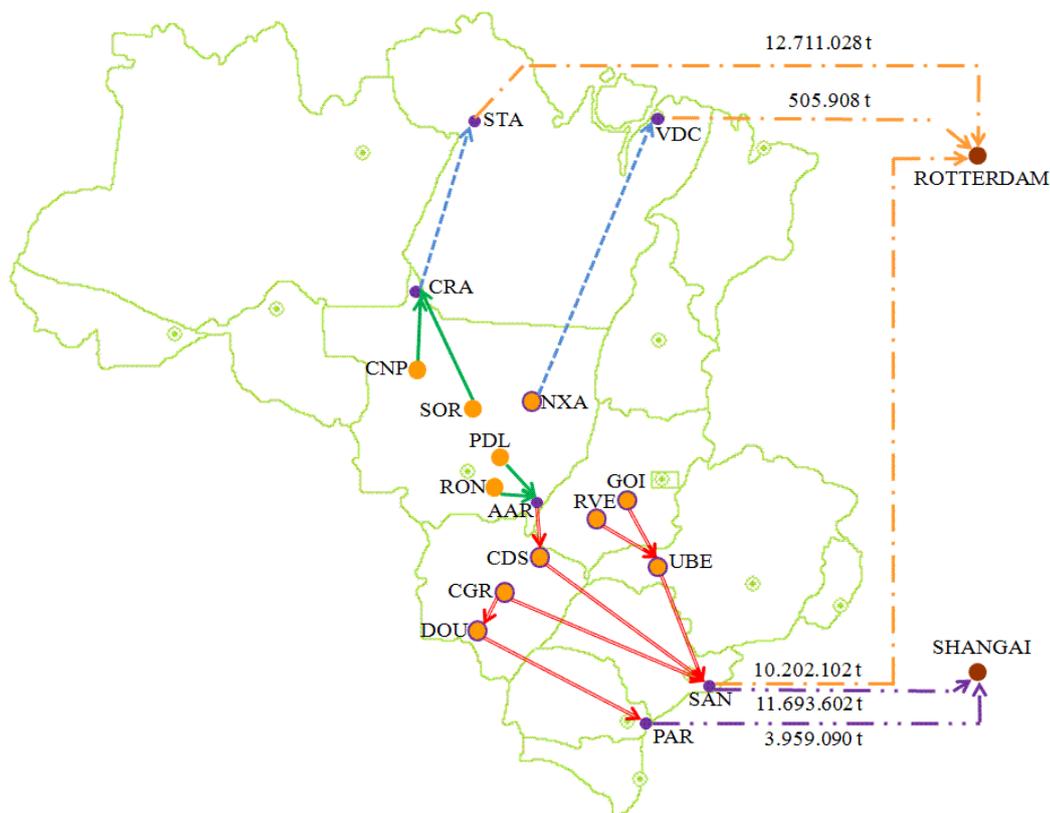


Figura 4.12: Fluxos e rotas da soja para a rede 2015

O mapa mostra o Porto de Santos escoando quase 22 milhões de toneladas de soja em grão. Considerando os mesmos dados de capacidade utilizados para geração de cenários da rede de 2000, com o Porto de Santos sendo capaz de operar até 13.140.000 t/ano, calcula-se que o porto deveria aumentar sua capacidade em aproximadamente 40%, de 2009 a 2015, para conseguir escoar esses quase 22 milhões de toneladas anuais.

Diante disso, achou-se por bem recalcular esta previsão de demanda, com base nos dados secundários disponibilizados pelo IBGE, para verificar os impactos do aumento de produção e demanda nos fluxos do grão no Brasil. Por meio do método de suavização exponencial, previu-se que o Brasil deveria exportar aproximadamente 27 milhões de toneladas anuais.

Os testes não mostraram mudanças no número de terminais intermodais necessários para o escoamento desse volume. No entanto, passou a ser escoado pelo Porto de Santos uma quantidade em torno dos 15 milhões de toneladas de soja por ano. Isso significa uma diferença de aproximadamente 12% em relação à capacidade máxima calculada de 13.140.000 t/ano.

4.6. Adequação do modelo

Com os testes apresentados neste capítulo foi possível perceber a adequação da formulação matemática em representar a realidade do escoamento da soja em grão brasileira. Mais importante do que indicar o número e a localização ótimos dos terminais intermodais, o modelo foi capaz de analisar cenários, sob condições diferentes de capacidade e oferta/demanda, e se mostrou como uma importante ferramenta de auxílio à tomada de decisão.

Com base nessas conclusões, são apresentados no capítulo 5, experimentos com uma rede de escoamento mais realista para os dias atuais. Sabendo que o modelo tem uma boa capacidade de representação, é esperado que também se obtenha bons resultados nesses novos testes.

CAPÍTULO 5 – Rede de escoamento da soja em grão brasileira

Conforme mencionado anteriormente, este quinto capítulo tem o objetivo de mostrar uma aplicação do modelo em um cenário mais realista para os dias de hoje, considerando os principais estados brasileiros produtores e movimentadores de soja em grão para exportação. A pretensão deste estudo não é determinar uma solução para o problema do sistema de transportes do Brasil ou para o escoamento de produtos agroindustriais, mas mostrar, por meio da geração de cenários, os impactos da intermodalidade e as possibilidades de melhoria quando a rede de transportes se apresenta de forma mais interconectada. Esses cenários consistiram na inclusão de restrições de capacidade das instalações da rede de escoamento de soja e de novos nós e arcos, de acordo com as bases de dados secundárias utilizadas e com a opinião de profissionais especialistas na área.

Para os experimentos apresentados neste capítulo, foi utilizado apenas o AMPL com o CPLEX (ILOG, 2006) e não mais o GNU GLPK, também utilizado nos experimentos do capítulo 4. Como dito no capítulo 4, o GNU GLPK resolveu os experimentos com a rede do GEIPOT de forma bastante eficiente. No entanto, testes preliminares mostraram que para a rede deste capítulo, o GNU GLPK teve dificuldades em resolver alguns cenários, se mostrando bem mais lento que o CPLEX e, em alguns casos, incapaz de encontrar uma solução para o problema devido a restrições de memória computacional.

5.1. Definição da rede de escoamento da soja em grão

Com base no que foi apresentado até o momento sobre a produção e o escoamento da soja brasileira, nos testes feitos com dados do estudo do GEIPOT e nos resultados gerados pelo projeto ALOGTRANS, foi possível compor uma rede de

escoamento da soja em grão destinada à exportação com os principais estados produtores e movimentadores de soja e com as principais vias de escoamento e portos exportadores. O objetivo foi compor uma rede mais atual e detalhada do que a do capítulo 4, de forma a representar da maneira mais realista possível o cenário atual dos fluxos do grão para alguns portos das regiões Sul e Sudeste do Brasil. A Figura 5.1 mostra a rede utilizada para os experimentos, denominada a partir de então como Rede 1.

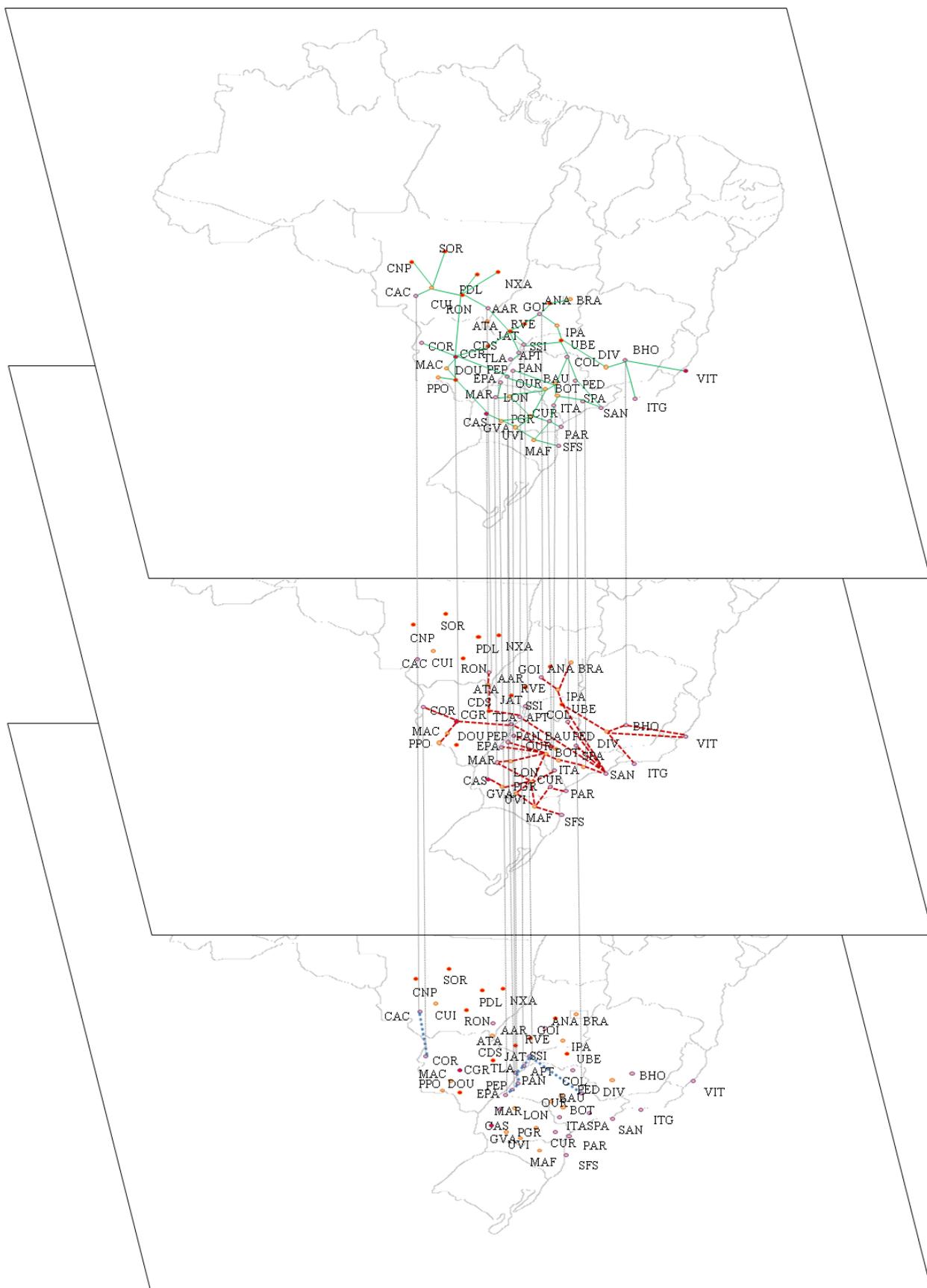


Figura 5.1: Representação multiníveis da Rede 1

A Rede 1 foi representada seguindo o modelo multiníveis proposto por Arnold *et al.* (2001). O primeiro nível mostra o modal rodoviário, o segundo o modal ferroviário e, por fim, no último nível, o modal hidroviário. Vale lembrar que é feita a distinção do modal aquaviário entre os modais hidroviário e marítimo de longo curso em virtude da necessidade de troca de embarcação e que, por essa razão, os portos são considerados terminais de transbordo. Ainda neste sentido, também é preciso que se diga que alguns pontos de origem podem ser considerados pontos de transbordo. Para isso, basta que o volume produzido ali seja escoado via transporte ferroviário (ou hidroviário), isto é, os experimentos consideram que para fazer o embarque da carga neste contexto, é preciso realizar o transbordo rodo-ferroviário (ou hidroviário).

Foram considerados 14 pontos de origem, 2 destinos e 31 pontos candidatos a terminais intermodais. Note que a maior parte dos pontos de origem está na região Centro-Oeste, onde está a maior concentração da produção de soja do país. Na Tabela 5.1 estão listados os pontos considerados na rede como origens, candidatos a terminais e destinos.

ORIGEM	TRANSBORDO	DESTINO
Campo Novo do Parecis - MT	Cáceres - MT	Shangai - China
Nova Xavantina - MT	Alto Araguaia - MT	Rotterdam - Holanda
Primavera do Leste - MT	Corumbá - MS	
Rodonópolis - MT	Campo Grande - MS	
Sorriso - MT	Três Lagoas - MS	
Analândia - GO	Aparecida do Taboado - MS	
Jataí - GO	Chapadão do Sul - MS	
Rio Verde - GO	Maracaju - MS	
Uberlândia - MG	Goiânia - GO	
Campo Grande - MS	São Simão - GO	
Chapadão do Sul - MS	Colômbia - SP	
Dourados - MS	Pederneiras - SP	
Cascavel - PR	Panorama - SP	
	Presidente Epitácio - SP	
	Euclides Paulista - SP	
	Itapeva - SP	
	São Paulo - SP	
	Santos - SP	
	Belo Horizonte - MG	
	Uberlândia - MG	
	Vitória - ES	
	Maringá - PR	
	Cascavel - PR	
	Curitiba - PR	
	Paranaguá - PR	
	Guarapuava - PR	
	Londrina - PR	
	Ponta Grossa - PR	
	União da Vitória - PR	
	Mafra - SC	
	São Francisco do Sul - SC	

Tabela 5.1: Pontos de origem, destino e candidatos a terminais

Os pontos de origem foram determinados com base nos estudos do GEIPOT e nos dados de produção atuais, dados de safra da soja disponibilizados pelo IBGE (2008). Os maiores produtores de cada estado foram considerados pontos de origem e estão representando não só suas próprias produções, mas a produção do estado como um todo, ou seja, cada ponto de origem está funcionando como uma espécie de centróide da região da qual faz parte. O IBGE disponibiliza em seu banco de dados a produção municipal da soja em grão brasileira. Assim, a produção de cada município foi sendo incorporada a do centróide mais próximo.

Como é possível observar, os pontos de origem do estado do Mato Grosso, o maior produtor de soja do país, fazem parte apenas da malha rodoviária do sistema de transportes. Para os grandes volumes produzidos nessa região é possível o escoamento até os portos diretamente por rodovias, em caminhões graneleiros, ou realizando transbordo para outros modais (ferroviário ou hidroviário), a partir do ponto que esses modais estejam disponíveis no caminho. Observe que a partir dos estados do Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais e, principalmente, o estado de São Paulo, já é possível contar com uma malha ferroviária capaz de escoar grandes volumes de soja. É importante lembrar, no entanto, que a soja compete em capacidade com outros produtos exportados via portos das regiões Sudeste e Sul.

A Ferronorte, que liga Alto Araguaia – MT a Aparecida do Taboado – MS, tem praticamente toda a sua capacidade ocupada com o transporte da soja em grão produzida na região Centro-Oeste. A ferrovia dá acesso direto à malha sob concessão da Ferroban, no estado de São Paulo, chegando diretamente ao Porto de Santos. Todos os 5 portos considerados realizam transbordo dos modais rodoviário e ferroviário para o marítimo (ANTT, 2009).

Há três hidrovias que servem de alternativa para o transporte da soja. A hidrovia do rio Paraguai, que liga Cáceres – MT a Corumbá – MS, a hidrovia dos rios Paranaíba e Tietê, que liga São Simão – GO a Pederneiras – SP, e a hidrovia dos rios Paranaíba e Paraná, que liga São Simão – GO aos municípios de Aparecida do Taboado – MS, Três Lagoas – MS, Panorama – SP, Presidente Epitácio – SP e Euclides da Cunha Paulista – SP, todos localizados ao longo da fronteira entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul.

5.2. Definição dos dados de entrada

Definir os dados que serão utilizados como entradas para uma série de experimentos é tarefa que deve ser feita com critério. O objetivo desta seção é mostrar como se deu o processo de determinação dos dados utilizados na aplicação do modelo de localização de terminais intermodais à Rede 1. A idéia é mostrar em detalhes as fontes utilizadas, o tratamento dado e as dificuldades encontradas na compilação desses dados.

5.2.1. Produção

A produção brasileira de soja em grão está disponível no banco de dados do IBGE, como já foi mencionado anteriormente. O sistema operacional utilizado pelo IBGE é capaz de fornecer a produção municipal do grão em 2008 e essa foi a informação utilizada. Alguns municípios foram considerados centróides (pontos concentradores da produção) e, dessa forma, agregaram a produção total de cada um dos estados representados na Rede 1. A produção de cada município foi sendo incorporada ao montante do centróide mais próximo, compondo a oferta da região e não apenas do município que dá nome ao centróide.

O foco desta dissertação, no entanto, não é o transporte de toda a soja em grão produzida no Brasil, mas da parte dessa produção que é destinada à exportação. Segundo informação da ABIOVE, em 2008, 40% da produção nacional de soja em grão foi destinada à exportação. Dessa forma, ao invés de considerar as ofertas como sendo o volume total produzido do grão, foram considerados apenas 40% desse total, ou seja, o equivalente ao volume destinado à exportação.

5.2.2. Demanda

Como pontos de destino foram considerados, assim como nos testes com os dados do GEIPOT, Rotterdam, na Holanda, e Shangai, na China. O primeiro representando a demanda da Comunidade Européia e o segundo, a demanda do Leste Asiático, que são os principais consumidores da soja brasileira. Com base em informações disponibilizadas pelo IEA (Instituto de Economia Agrícola), foi determinado que 77% do total da soja exportada são destinados ao mercado europeu, cujo acesso é o porto de Rotterdam, na Holanda, e os 23% restantes ao mercado asiático (IEA, 2010).

5.2.3. Custos de transporte, transbordo e instalação do terminal

A formulação proposta define como arcos as operações de transporte e transbordo na rede. Se um arco conecta dois pontos em um mesmo plano, significa que ele é um arco de transporte. Se conecta um plano a outro, possibilitando a troca de modal, significa que é um arco de transbordo. Custear os arcos, nessa formulação, significa considerar os custos variáveis de transporte e transbordo e o custo fixo de instalação do terminal no experimento.

Assim como nos experimentos com os dados do GEIPOT, aqui também o custo fixo de instalação do terminal foi desconsiderado. Este é um custo difícil de estimar e não está disponível em nenhuma das bases de dados pesquisadas para esta pesquisa. Por essa razão, as análises feitas neste capítulo para a rede de escoamento da soja em grão serão baseadas apenas nos custos variáveis de transporte e transbordo. Na prática, desconsiderar o custo fixo de instalação do terminal significa dizer que instalar um terminal em Três Lagoas-MS ou em Cascavel-PR, por exemplo, tem o mesmo custo. A escolha de qual o melhor local para instalar o terminal será baseada nos custos de transporte e transbordo envolvidos.

Os custos variáveis de transporte e transbordo foram considerados de forma simplificada. Para os custos de transporte, por exemplo, foi feito apenas o cálculo do frete em R\$/t. O preço do frete (R\$/km t) foi multiplicado pelo tamanho de cada arco (km). Custos adicionais importantes, como impostos, e as possíveis economias de escala geradas pelo transporte de grandes quantidades de carga, foram desconsiderados neste análise.

Uma análise detalhada dos custos logísticos totais do escoamento da soja brasileira que é destinada à exportação é feita em Kussano (2010). Em seu trabalho, a autora considera 6 fontes de custo: transporte, armazenagem, estoque, transbordo em terminais, portuários e tributários. O custo de frete, considerado aqui simplesmente como custo de transporte, é parte do custo de transporte citado, que, segundo a autora, é formado ainda pelo custo de perda e pelo custo de estoque em trânsito.

Para determinar um custo de transbordo que representasse da forma mais confiável possível os praticados na realidade, os valores foram baseados nos praticados pelas grandes empresas movimentadoras de carga agrícola do Brasil. Além disso, também se verificou que não fazia sentido considerar o mesmo valor para os transbordos envolvendo os modais rodoviários e ferroviários e os envolvendo o transbordo hidroviário. Segundo informação da ALL (América Latina Logística), disponibilizada na rede, e de notícias publicadas em endereços eletrônicos da área, o custo (em R\$/t) de realizar o transbordo rodo-ferroviário é, aproximadamente, 1% menor do que o de realizar um transbordo rodo-hidroviário, por exemplo.

5.2.4. Capacidade de movimentação dos portos

Anderson *et. al* (2009) desenvolveram um estudo que tinha o objetivo de avaliar a capacidade dos terminais granéis agrícolas utilizados para escoamento da produção da região Centro-Oeste do Brasil. Nesse estudo, os autores apresentam tanto a movimentação de cargas nesses terminais no ano de 2007, quanto a capacidade de movimentação dos mesmos. Porque as capacidades de movimentação de soja foram disponibilizadas, na maior parte dos casos, agregadas às capacidades de movimentação de outros grãos, para fim dos experimentos, foram utilizados os dados de movimentação de soja em 2007 como capacidade de movimentação desses terminais. Essa decisão pareceu razoável, visto que um dos objetivos dos experimentos é a representação mais realista possível dos fluxos da soja em grão que é destinada à exportação.

Os dados de capacidade, principalmente, tanto das vias quanto dos terminais, muitas vezes não estavam disponíveis. Quando estavam, às vezes apresentavam discrepâncias entre uma base de dados e outra. Na maior parte das vezes, como já foi dito, considerar que a capacidade era equivalente ao fluxo real em anos anteriores pareceu razoável.

5.2.5. Comentários gerais sobre os dados de entrada

É importante ressaltar aqui as dificuldades encontradas para definir dados secundários consistentes e confiáveis. Ao longo da pesquisa, foram visitadas inúmeras bases de dados, tanto as do Governo Federal quanto as disponibilizadas por empresas do setor, agências de notícias e associações ligadas à agroindústria brasileira. Como foi possível observar ao longo da seção 5, foram necessárias adaptações para que os dados encontrados pudessem ser utilizados e os experimentos representassem a realidade atual dos fluxos de soja no Brasil o mais precisamente possível.

5.3. Rede 1

5.3.1. Experimento com a Rede 1 sem restrições de capacidade

O primeiro teste realizado com a Rede 1 desconsidera as capacidades de nós e arcos. Em termos práticos, isso significa que pode ser escoada pelo Porto de Santos, por exemplo, toda a soja disponível em todas as origens. Dessa forma, a solução do problema é determinada levando-se em consideração apenas os custos de transporte e transbordo, ambos variáveis. É função do modelo decidir, de acordo com as quantidades

movimentadas, a situação mais econômica. Por exemplo, cabe ao modelo decidir se é mais vantajoso pagar o transbordo de uma carga e continuar o caminho por ferrovia (ou hidrovia), ou se é melhor não pagar por esse transbordo e fazer o trajeto até os portos por rodovia.

O gráfico da Figura 5.2 mostra o custo total da movimentação de toda a soja até o seu destino, ou seja, o valor da função objetivo (FO), pelo número de terminais intermodais instalados (com $p=1, 2, \dots, 17$). Segundo o modelo, $p = 12$ é o número de terminais intermodais instalados a partir do qual o valor da FO não muda mais, isto é, chegou ao mínimo possível. Os 12 terminais foram instalados em: Porto de Santos (SAN-SP), Alto Araguaia (AAR-MT), Porto de Paranaguá (PAR-PR), Três Lagoas (TLA-MS), Aparecida do Taboado (APT-MS), Campo Grande (CGR-MS), Uberlândia (UBE-MG), Cascavel (CAS-PR), Chapadão do Sul (CDS-MS), Maracaju (MAC-MS) e Goiânia (GOI-GO).

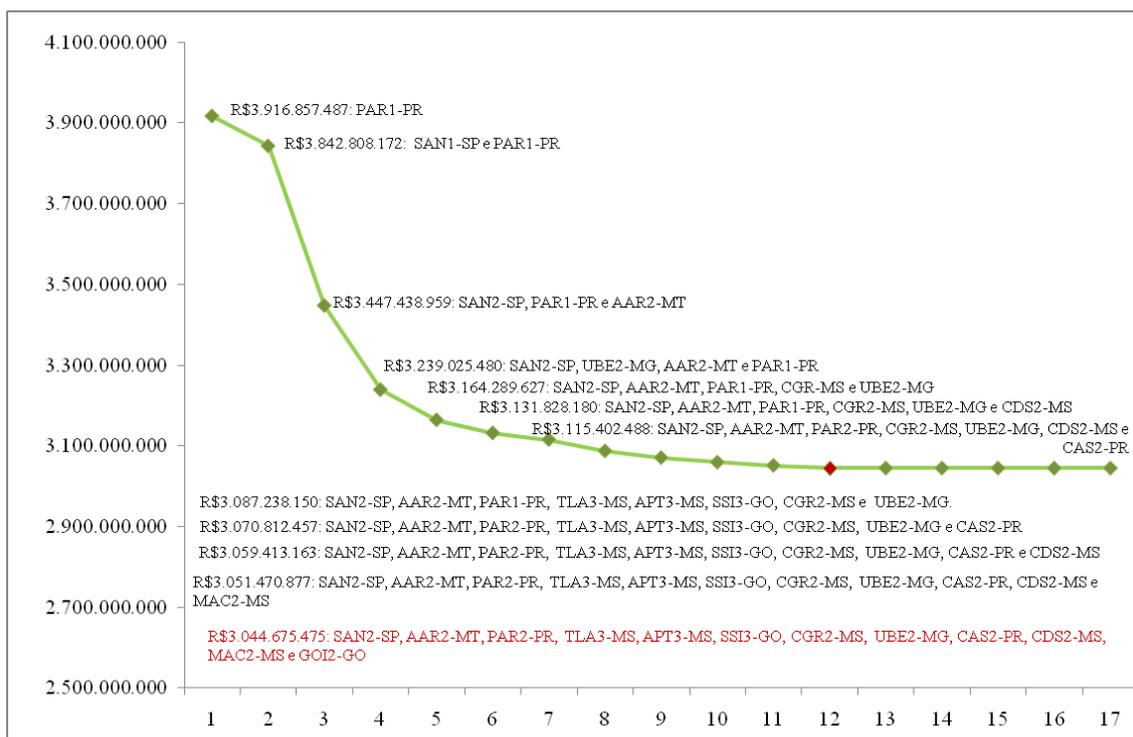


Figura 5.2: Número de terminais intermodais instalados na Rede 1 não capacitada

É possível observar no mapa da Figura 5.3, que mostra os fluxos e os terminais intermodais instalados neste primeiro experimento, que as rodovias são utilizadas apenas quando não há a possibilidade de se utilizar ferrovias ou hidrovias. Sendo assim, é possível concluir que, considerando os volumes de soja que são movimentados com destino à exportação, visto que esta análise trata apenas de custos

variáveis, é mais vantajoso mudar de modal a ter que movimentar a carga pelo restante do trajeto por rodovias, como era esperado. Também se visualiza o caso onde o ponto de origem também é um terminal intermodal. Um exemplo é o município de Cascavel, no Paraná, que é um centróide de origem e, ao mesmo tempo, um terminal intermodal. Isso porque é mais econômico, considerando os custos de transporte e transbordo, realizar o transbordo para a rede ferroviária do Paraná, do que levar a carga por rodovia até o Porto de Paranaguá.

O centróide representado pelo município de Dourados, no Mato Grosso do Sul, tem acesso à rede apenas por transporte rodoviário. Mas o que se observa é que assim que é possível ter acesso à rede ferroviária, o modelo opta por pagar o preço do transbordo rodo-ferroviário e instalar um terminal intermodal em Maracaju, no Mato Grosso do Sul. Por essa razão, é possível prever, por hipótese, que havendo a instalação de um trecho ferroviário entre Maracaju e Dourados, que o terminal intermodal instalado seria deslocado para esta cidade e não aquela.

Na prática, é sabido que há um importante volume de soja que é transportado para o Porto de Santos por meio da hidrovia São Simão-GO – Pederneiras-SP. Como também é possível ver no mapa da Figura 5.3, essa hidrovia não foi utilizada pelo modelo, o que quer dizer que, com os dados de utilizados, essa hidrovia não é mais econômica do que a que liga São Simão-GO a Três Lagoas-MT, passando por Aparecida do Taboado-MT. Uma hipótese para explicar esse fato seria o modo como os custos de transporte foram considerados nesse estudo. Como já dito anteriormente, os custos de transporte são compostos apenas do valor de frete do modal, multiplicados pela distância entre os pontos e pela quantidade movimentada. Foram desconsideradas as eventuais economias de escala e os outros componentes desse custo, como impostos.

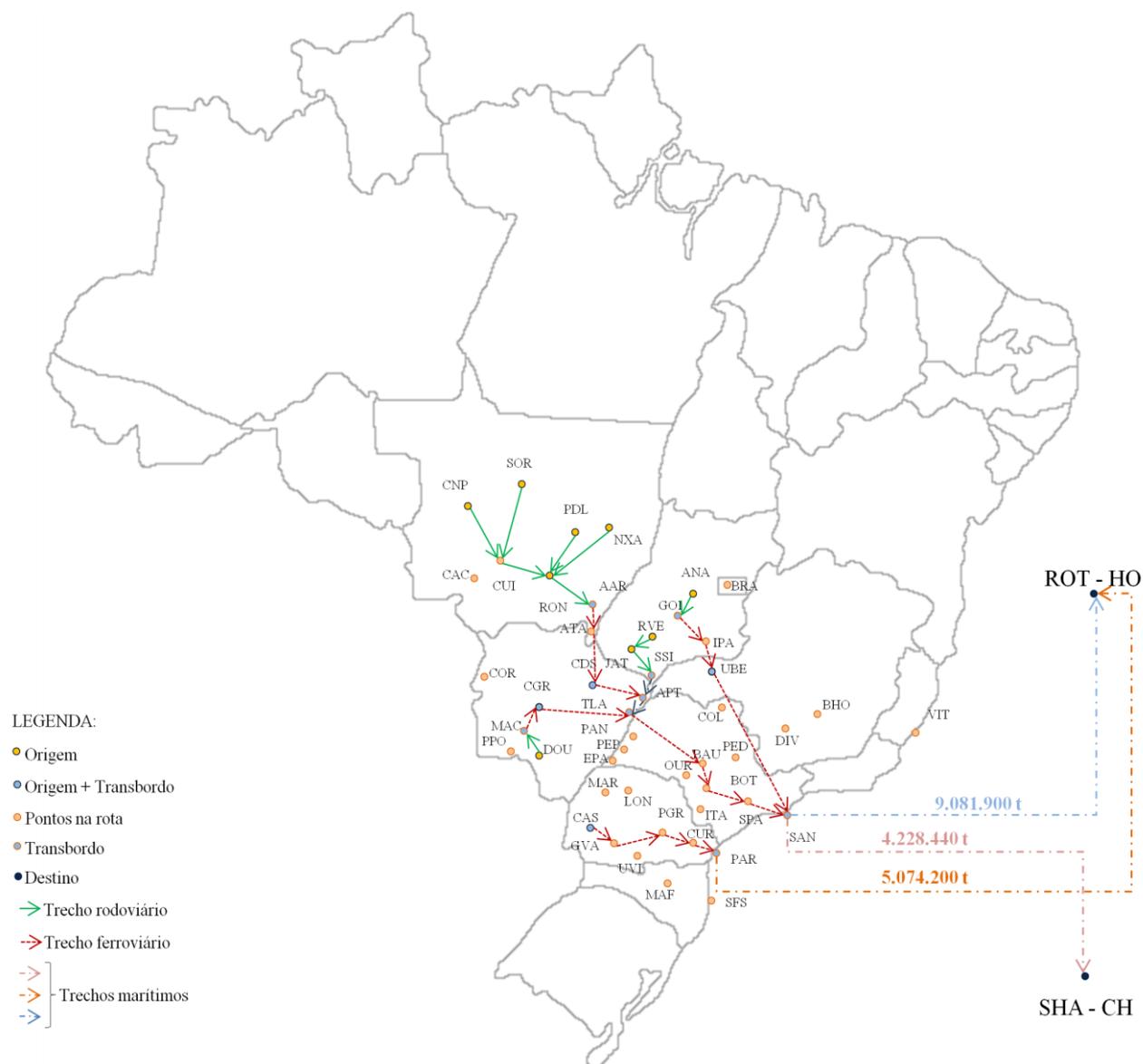


Figura 5.3: Mapa dos fluxos de soja da Rede 1

Na Figura 5.3 também é possível observar as quantidades, em toneladas, da soja que é escoada pelos dois portos utilizados: o Porto de Santos e o Porto de Paranaguá. Segundo dados publicados por Anderson *et. al.* (2009), o Porto de Santos tem capacidade de movimentação de soja de aproximadamente 7.100.000 de toneladas por ano. O modelo apresentou um fluxo de mais de 13 milhões de toneladas sendo escoados por esse porto, o que seria impossível na prática em função da sua capacidade.

5.3.2. Restrições de capacidade do Porto de Santos e do Porto de Paranaguá

Para um segundo teste, foram inseridas as restrições de capacidade dos Portos de Santos e Paranaguá.

Muitas mudanças podem ser observadas quando são incorporadas ao modelo as restrições de capacidade dos portos. A primeira e mais imediata, quando se observa o mapa da Figura 5.5, é a instalação do terminal intermodal no Porto de Vitória, no Espírito Santo. O gráfico da Figura 5.4 (para $p = 1, 2, \dots, 19$) mostra que além do terminal do Porto de Vitória, outros 3 terminais intermodais foram instalados, totalizando 16. Os $p = 16$ terminais são: Porto de Santos (SAN-SP), Alto Araguaia (AAR-MT), São Simão (SSI-GO), Porto de Paranaguá (PAR-PR), Maringá (MAR-PR), Cascavel (CAS-PR), Euclides da Cunha Paulista (EPA-SP), Aparecida do Taboado (APT-MS), Campo Grande (CGR-MS), Três Lagoas (TLA-MS), Uberlândia (UBE-MG), Chapadão do Sul (CDS-MS), Porto de Vitória (VIT-ES), Belo Horizonte (BHO-MG), Goiânia (GOI-GO) e Maracaju (MAC-MS).

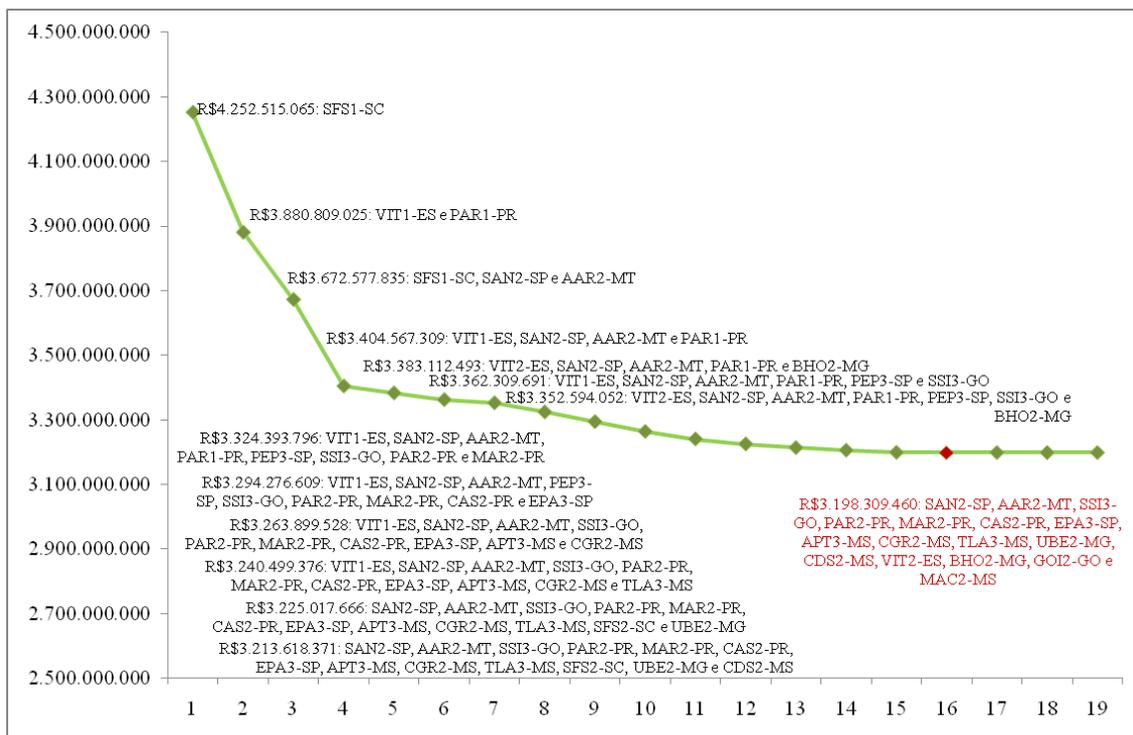


Figura 5.4: Número de terminais intermodais instalados na Rede 1 capacitada

Também foram identificadas importantes alterações no comportamento dos fluxos de soja. Em virtude da restrição de capacidade do Porto de Santos, parte da soja produzida dos estados do Mato Grosso e do Mato Grosso do Sul passam a ser escoadas pelo Porto de Paranaguá, até atingir a capacidade deste. Os terminais intermodais instalados em Euclides da Cunha Paulista-SP e em Maringá-PR permitem que a soja chegue até o Porto de Paranaguá.

A soja que é escoada pelo Porto de Vitória é parte da que é produzida pelo estado de Goiás. A carga vai até Uberlândia-MG, de onde parte é enviada via ferrovia direto para o Porto de Santos e o excedente é enviado para o Porto de Vitória. No teste, os portos de Santos e Paranaguá atingem sua capacidade máxima e o Porto de Vitória escoo o excedente, o que corresponde a aproximadamente 14% da capacidade deste terminal.

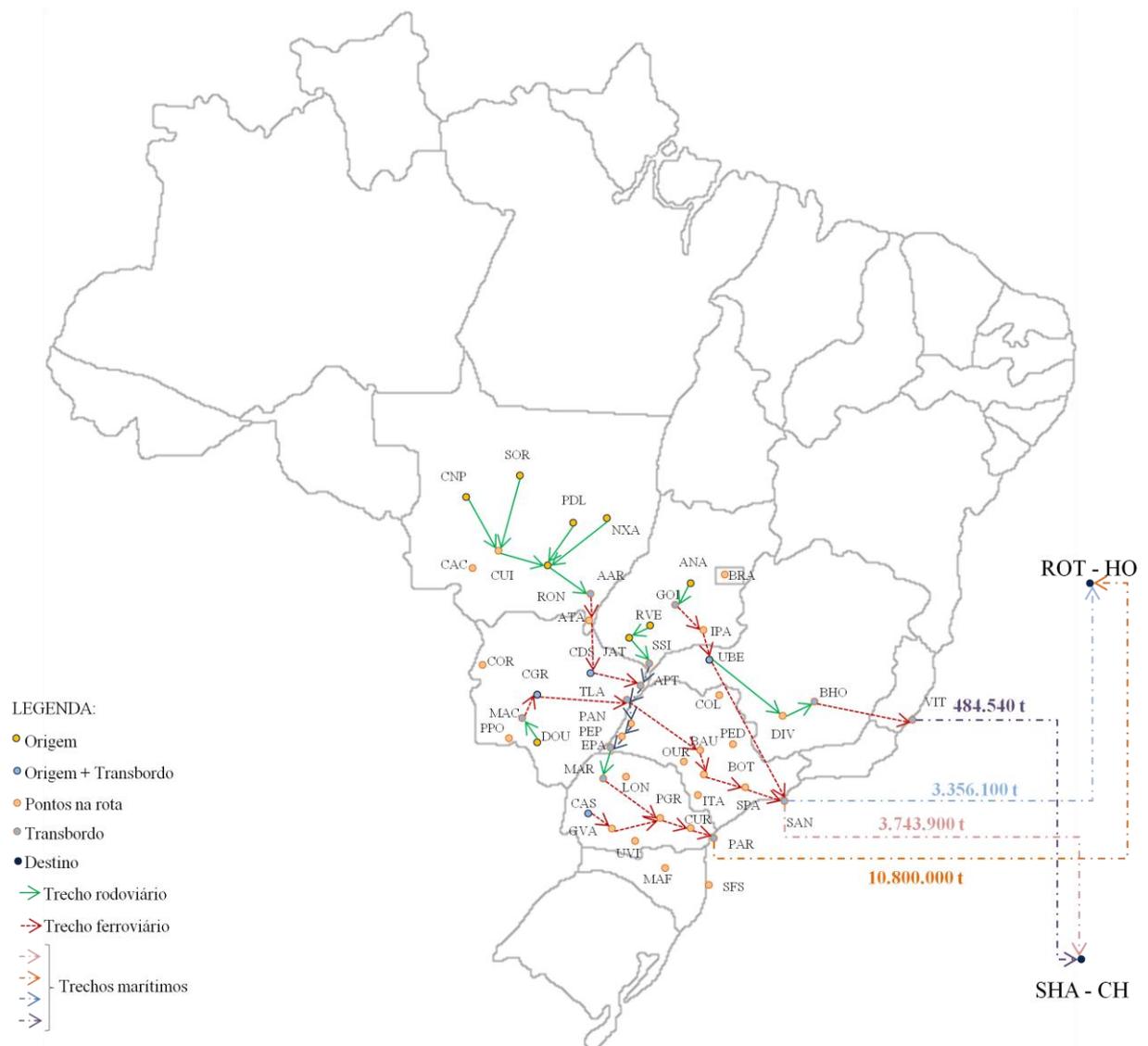


Figura 5.5: Mapa dos fluxos de soja da Rede 1 capacitada nos portos

Nesse experimento, as restrições de capacidade foram impostas apenas aos terminais intermodais localizados nos portos marítimos. Restringir as capacidades dos terminais instalados no interior do país, apesar da disponibilidade de muitos desses dados, não fez sentido, pois restringir as capacidades dos portos marítimos já fez com

que os limites de capacidade dos terminais intermodais de transbordo do interior fossem respeitados.

5.4. Rede 2

O estudo do GEIPOT e vários outros estudos apresentados no capítulo 3, como Ojima (2007) e Branco (2007), sugerem a importância e a necessidade de se continuar estudando os impactos que o escoamento de produtos agrícolas por portos das regiões Norte e Nordeste podem causar para o sistema de transportes do Brasil como um todo. Com base nisso, realizou-se experimentos em uma rede com abrangência maior, com o objetivo de compreender os fluxos da soja em grão em uma região mais expressiva do Brasil. A Figura 5.6 mostra essa nova rede, composta pela Rede 1 e alguns estados das regiões Norte e Nordeste.

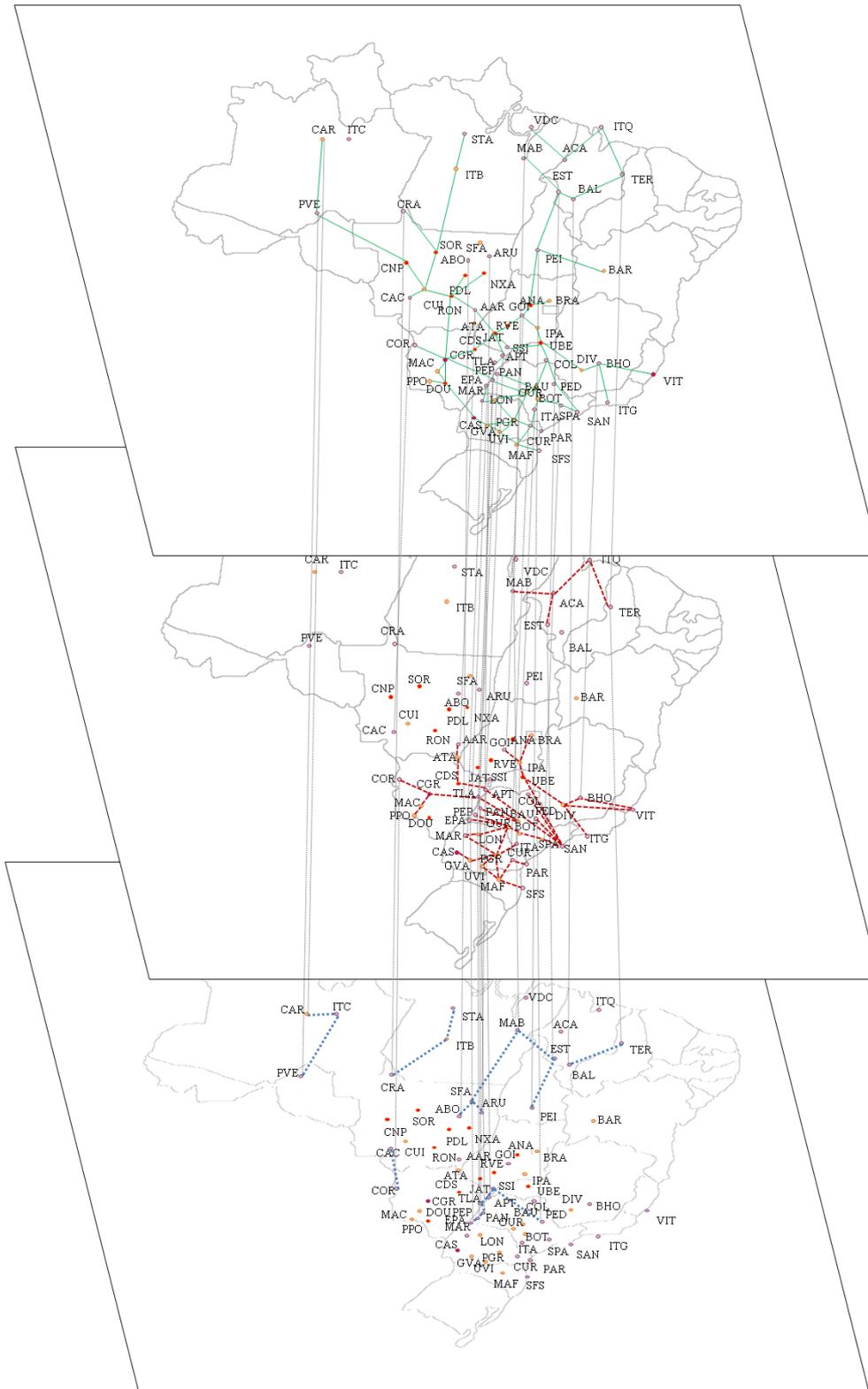


Figura 5.6: Representação multiníveis da rede considerando pontos nas regiões Norte e Nordeste

O que primeiro chama a atenção é a concentração de hidrovias em detrimento das rodovias e ferrovias. De Oeste para Leste é possível observar a hidrovia do rio Madeira ligando Porto Velho – RO até o Porto de Itacoatiara – AM e um pequeno

trecho do rio Amazonas ligando Careiro – AM ao Porto de Itacoatiara – AM. Em seguida, a hidrovia que liga Cachoeira Rasteira – MT ao Porto de Santarém – PA, formada pelo Rio Teles Pires e pelo Rio Tapajós, a hidrovia do Rio das Mortes e do Rio Araguaia, que liga os municípios de Aruanã – MT e Água Boa – MT a Marabá – PA, a hidrovia do Rio Tocantins, que liga o município de Peixes – TO, passa por Estreito – MA e chega em Marabá – PA e, por fim, a hidrovia que liga Balsas – MA a Terezina – PI, formada pelo rio Parnaíba.

Os únicos trechos de ferrovias estão nos estados de Pará e do Maranhão. A Estrada de Ferro Carajás (EFC), que sai de Carajás – PA (não representada no mapa) e passa por Marabá, Açailândia e termina no Porto de Itaqui – MA, um pequeno trecho da Ferrovia Norte-Sul ligando Estreito – MA a Açailândia – MA e, por fim, um trecho de ferrovia da Companhia Ferroviária do Nordeste (CFN), ligando Terezina – PI ao Porto de Itaqui – MA.

A partir do momento em que as regiões Norte e Nordeste do Brasil passaram a ser consideradas na rede de escoamento da soja brasileira, foi necessário a inclusão de novas regiões produtoras. Foram incluídos como centróides de origem os municípios de Balsas, no Maranhão e Barreiras, na Bahia. Ambos são reconhecidos como grandes produtores nacionais do grão.

5.4.1. Experimento com a Rede 2 sem restrições de capacidade

Sem restrições de capacidade, os fluxos de soja da Rede 2 se apresentam como no mapa da Figura 5.7. São utilizados para embarque da soja os portos de Santos, Paranaguá, Itacoatiara, Santarém e Itaqui, parte de um todo de 22 terminais intermodais instalados para escoar toda a produção de soja considerada. O Porto de Itaqui fica responsável pela soja que é produzida no Maranhão e na Bahia, isto é, pela produção que passou também a ser considerada, e por parte da soja produzida no norte do Mato Grosso. Os portos de Santarém e Itacoatiara também passaram a movimentar a soja do norte do estado do Mato Grosso, fazendo uso das hidrovias disponíveis. O Porto de Vila do Conde, segundo informações divulgadas por especialistas da ANTAQ, ainda não movimenta grãos. Como há projetos para que isso passe a acontecer nos próximos anos, o Porto de Vila do Conde será analisado como um cenário futuro.

As rotas das regiões Sudeste e Sul continuaram as mesmas. Apenas as quantidades movimentadas é que foram reduzidas, em virtude da divisão da produção

do norte do Mato Grosso. As ferrovias continuam sendo utilizadas mais que as rodovias, ainda que seja necessário se pagar pelo transbordo da carga. Na região Norte, predomina o transporte por hidrovias, como pode ser observado com a utilização das hidrovias do Rio Madeira, do Rio Teles Pires e do Rio Araguaia.

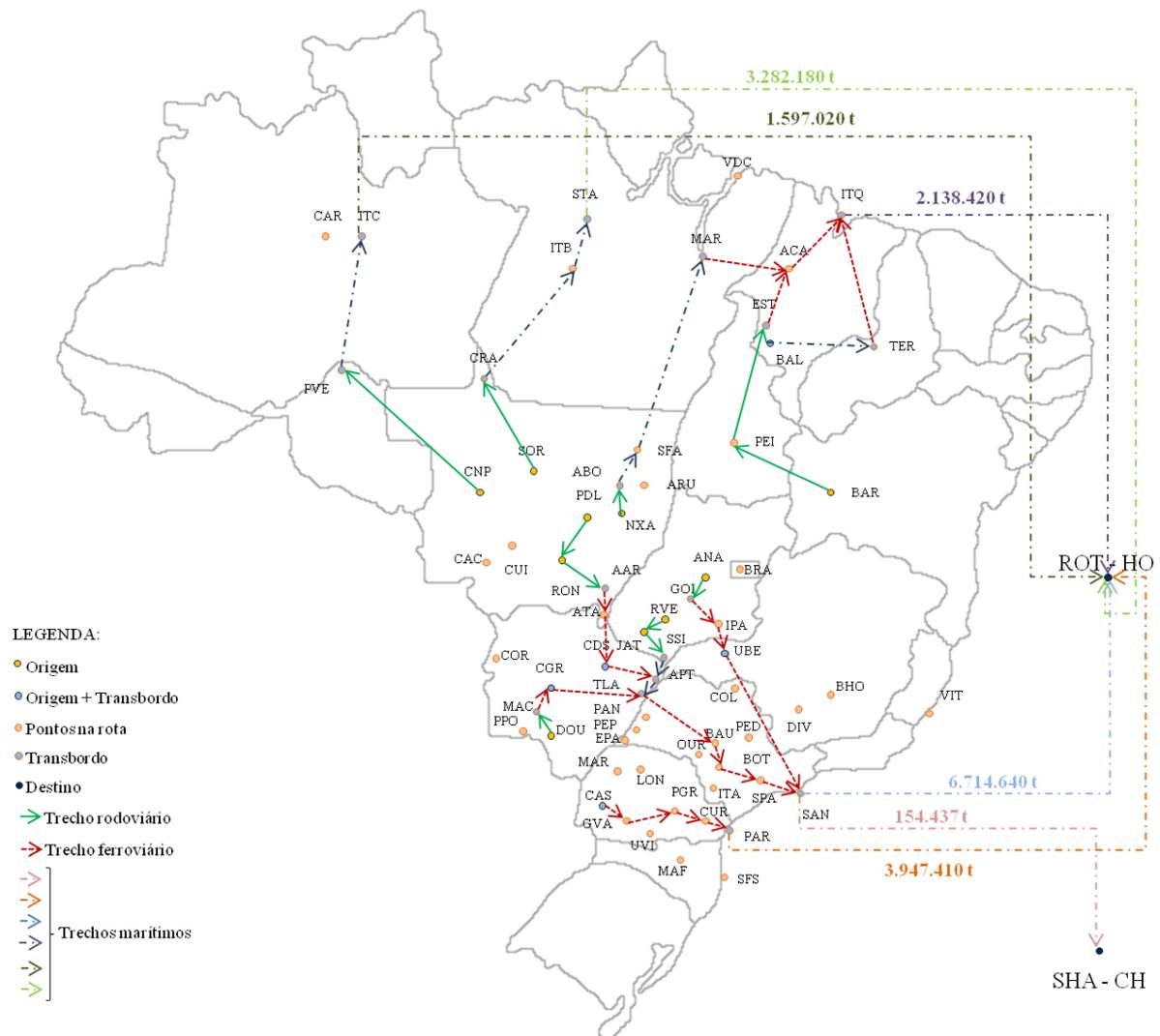


Figura 5.7: Mapa dos fluxos de soja da Rede 2

Analisando as quantidades embarcadas em cada porto, foi possível identificar uma utilização acima da capacidade de movimentação do Porto de Santarém. Considerando que a capacidade de movimentação deste terminal é algo em torno de 1.100.000 toneladas por ano, o Porto de Santarém estaria movimentando, segundo o experimento, quase o triplo do que suportaria. Partindo desta análise, foram sendo incorporadas outras restrições de capacidade de embarque nos portos e novos experimentos foram feitos. O que se observou foi que restringir as capacidades dos

portos de Santos, Santarém e Itaquí é suficiente para que sejam obedecidas as restrições reais de embarque nos terminais dos portos disponíveis.

5.4.2. Restrições de capacidade do Porto de Santos, do Porto de Santarém e do Porto de Itaquí

Ao se restringir as capacidades de movimentação dos portos de Santos, Santarém e Itaquí, os fluxos de soja da Rede 2 passaram a se comportar como no mapa da Figura 5.8. Para escoar toda a soja, foi necessário instalar mais dois terminais: Euclides da Cunha Paulista-SP e Maringá-PR.

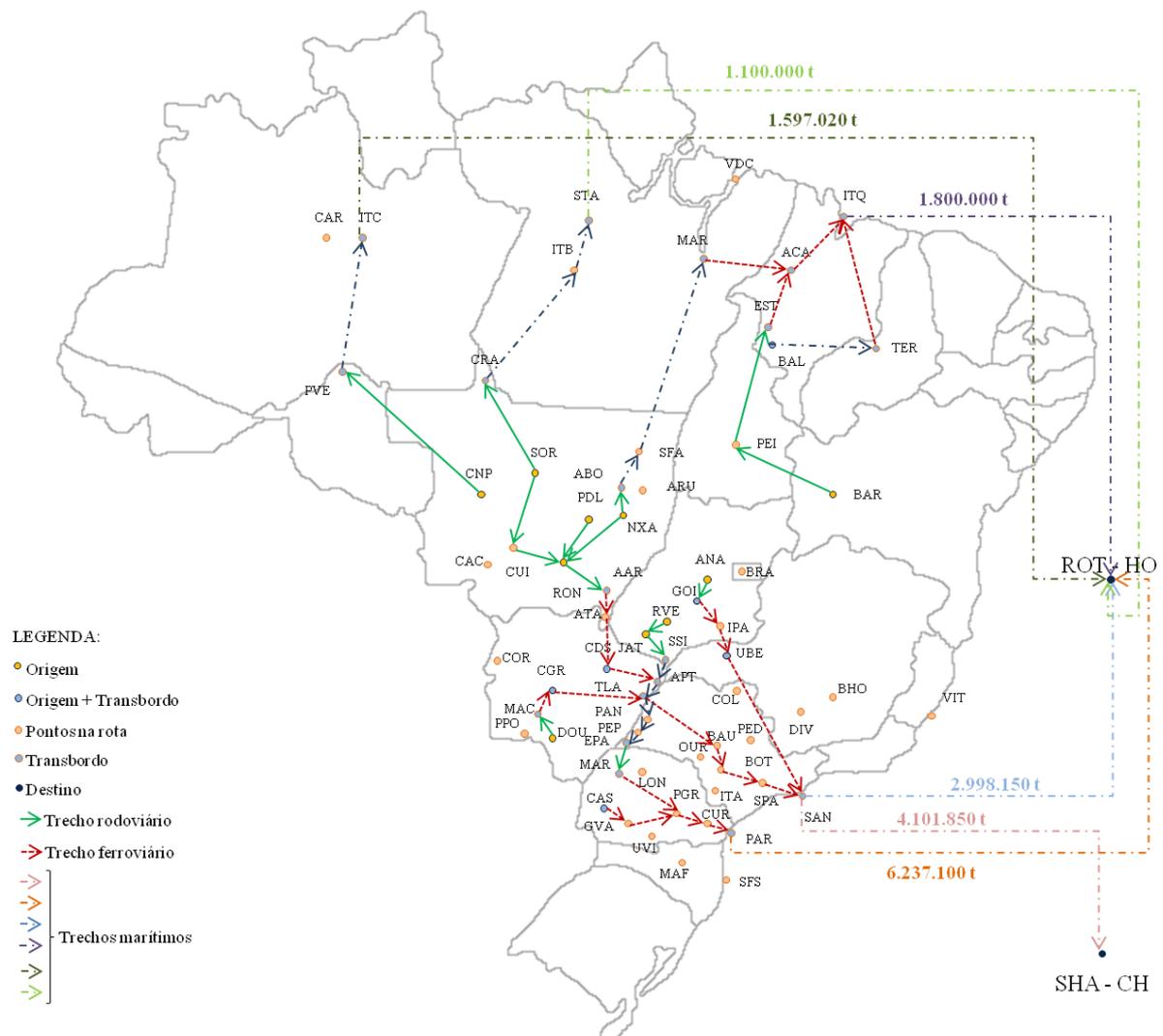


Figura 5.8: Mapa dos fluxos da Rede2 capacitada nos portos

É possível observar algumas mudanças interessantes nos fluxos de soja da Rede 2. Uma delas é a divisão da produção do centróide representado pelo município

de Sorriso, no norte do Mato Grosso: 32% da soja produzida ali são escoados pelo Porto de Santarém e o restante pelo Porto de Santos. Isso porque esses 32% foram suficientes para que se atingisse o limite da capacidade de movimentação do Porto de Santarém.

A produção do centróide de Nova Xavantina também foi dividida. Parte seguiu pela hidrovia do Rio Araguaia até Marabá, e de lá via ferrovia até o Porto de Itaquí, e parte foi para a região Sudeste, seguindo pela Ferronorte. Dessa forma, os limites das capacidades dos portos de Santos, Santarém e Itaquí foram atingidos e o excedente da soja foi escoado via Paranaguá, utilizando a hidrovia do Rio Paraná e a malha ferroviária do estado do Paraná, acessada a partir de Maringá.

5.4.3. Cenário futuro – Porto de Vila do Conde

Como mencionado anteriormente, o Porto de Vila do Conde não movimenta grãos atualmente. No entanto, em vários estudos da ANTAQ e do Governo Federal, por meio do PAC (Programa para Aceleração do Crescimento), o Porto de Vila do Conde é citado como alvo de investimentos. Segundo o Governo, o Porto deverá ter capacidade de movimentação de 2,5 milhões de toneladas de grãos por ano em apenas 5 anos. Com base nessa informação, foi feito um experimento para verificar o impacto no fluxos de soja da Rede 2 caso o terminal de grãos no Porto de Vila do Conde existisse no cenário atual (2009), utilizando-se ainda de 24 terminais, pois o terminal hidro-ferroviário de Marabá-PA é substituído pelo terminal do Porto de Vila do Conde (Figura 5.9).

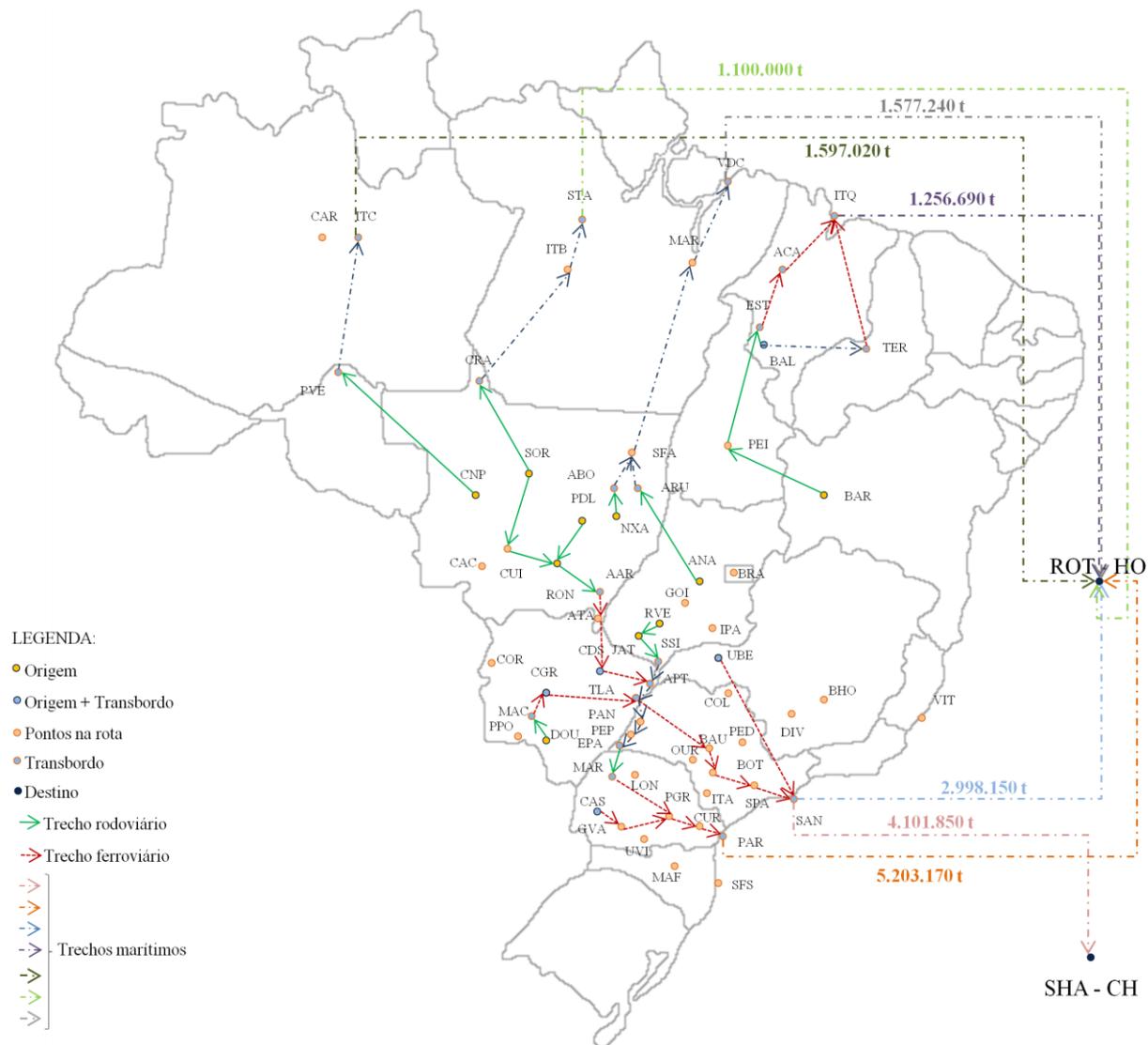


Figura 5.9: Mapa dos fluxos de soja da Rede 2 + terminal de grãos do Porto de Vila do Conde

Com a instalação do terminal de grãos no Porto de Vila do Conde, o Porto de Itaquí, antes ocupando toda a capacidade disponível para movimentação de grão, passa a operar em aproximadamente 70% de sua capacidade. O Porto de Paranaguá, que tinha sido responsável pelo escoamento do excedente de produção após as restrições de capacidade dos portos de Santos, Santarém e Itaquí, tem o volume escoado por suas instalações reduzido em quase 17%. O Porto de Vila do Conde passa então a escoar toda a soja produzida nas regiões de Nova Xavantina, no Mato Grosso, e de Anápolis, em Goiás. Esses 17% do volume de soja que deixaram de ser escoados pelo Porto de Paranaguá são equivalentes a, aproximadamente, 1 milhão de toneladas de soja. Em termos práticos, trata-se de 1 milhão de toneladas de soja que estava sendo escoado por uma opção mais cara, por falta de alternativas mais econômicas. Observando para o valor da função objetivo, a inclusão do terminal de grão no Porto de

Vila do Conde contribuiu para uma redução de 2%, o que é equivalente a mais de 60 milhões de reais.

O Porto de Itaqui, com sua capacidade para movimentação de grãos em torno dos 2 milhões de toneladas, movimenta, segundo informação da Emap (Empresa Maranhense de Administração Portuária), o equivalente a aproximadamente 34% da produção total de sua área de influência. O projeto do Tegram (Terminal de Grãos do Maranhão) prevê o aumento da capacidade do Porto de Itaqui para 7 milhões de toneladas.

Com base nos resultados do experimento, é possível perceber que o aumento da capacidade do Porto de Itaqui já seria suficiente para escoar a produção que está sendo considerada. Neste caso, uma possível análise a ser feita seria a comparação entre expandir a capacidade do Porto de Itaqui, ou instalar um terminal no Porto de Vila do Conde, segundo critérios que não a capacidade necessária para escoar o volume produzido, visto que, segundo o modelo, qualquer uma das alternativas atenderia a essa questão.

Por meio desse experimento, foi possível ilustrar algumas análises que podem ser feitas com a utilização do modelo matemático proposto no capítulo 4 para tratar problemas práticos reais. Uma vez inserida uma nova possibilidade para o escoamento da soja, os resultados foram consistentes e mostraram o impacto no comportamento dos fluxos, bem como no custo logístico total, representado pelo valor da função objetivo.

5.5. Rede 3

Quando se observa o mapa da Rede 2 fora da representação multiníveis, como na Figura 5.10, é possível perceber que há uma área central, formada por parte dos estados do Mato Grosso e de Goiás, que está pouco conectada com as hidrovias e a malha ferroviária disponível. É uma área que produz e movimenta grandes volumes de soja em grão e que, por causa da ausência de ferrovias e hidrovias, a soja tem que percorrer longas distâncias em caminhões graneleiros, por meio rodovias. Vale salientar que, para efeito de visualização, estão representadas no mapa (Figura 5.10) apenas a rodovias da região central, principalmente no estado do Mato Grosso, onde praticamente não há ferrovias ou hidrovias.

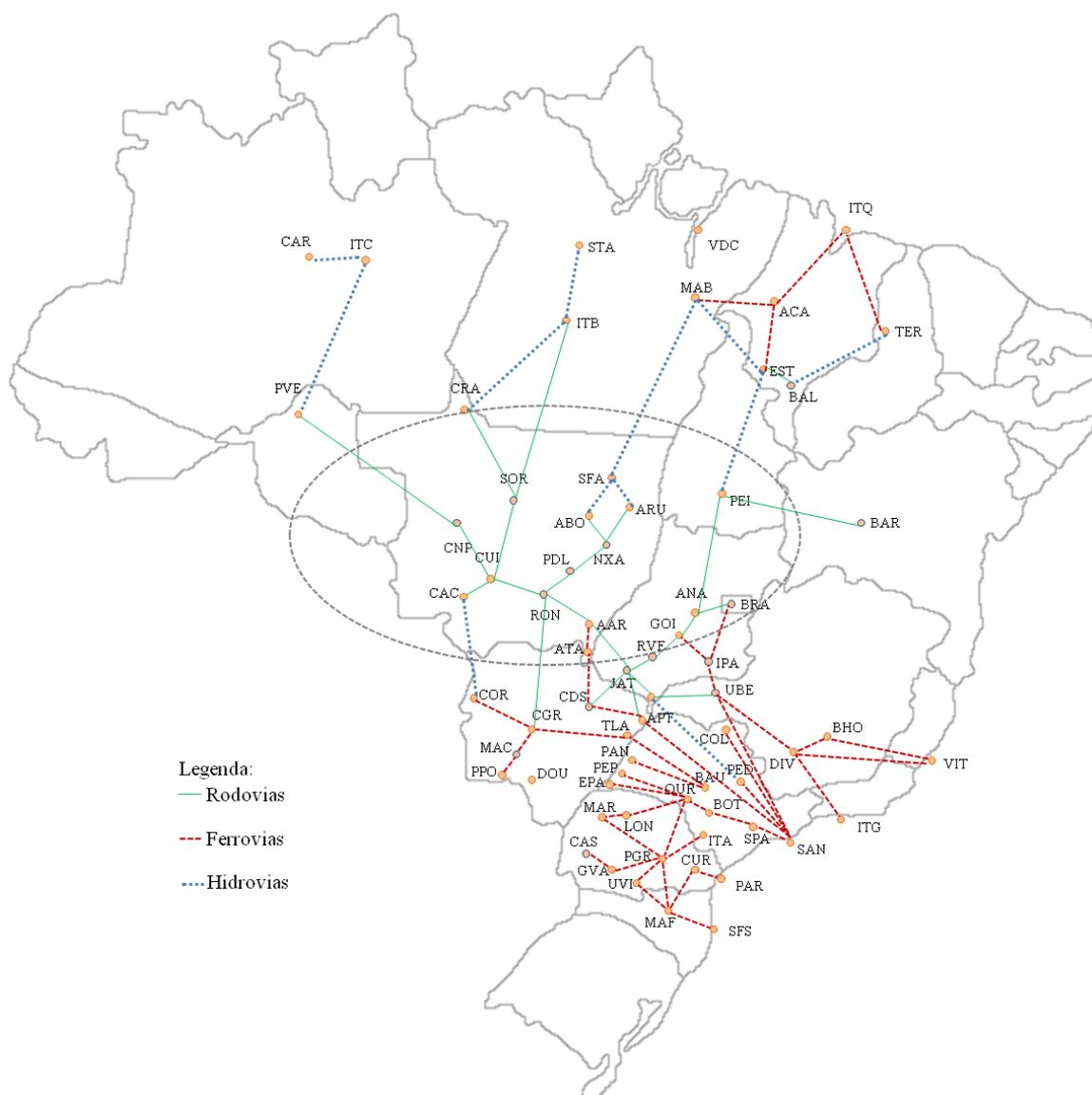


Figura 5.10: Rodovias da região central do Brasil

Com base nisso e nas informações apresentadas pelo governo tanto no PNLT (Plano Nacional de Logística e Transporte) quanto no PAC, foi criada uma nova rede, a Rede 3, para analisar o impacto da construção dos trechos de ferrovias que estão planejados.

Como é possível observar no mapa da Figura 5.11, há três extensões de ferrovias ainda em projeto. Na região Sul, a extensão da Ferroeste deverá sair do município de Cascavel – PR para o município de Maracaju – MS, onde se encontra com a Ferrovia Novoeste. Esta extensão passará pelo município de Dourados – MS, grande produtor de soja do estado e que hoje conta apenas com o modal rodoviário para escoar sua produção.

Interligando a região dos estados do Mato Grosso e Goiás com as hidrovias e demais ferrovias, a extensão da Ferronorte deverá seguir, a Leste, até o município de Uberlândia – MG, passando a ter acesso às Ferrovias Norte-Sul, Centro-Atlântica e Ferroban e, a Oeste, a Ferronorte deverá seguir rumo a Cuiabá – MT, onde se divide em dois trechos, com destino a Porto Velho – RO e a Santarém – PA. É importante ressaltar que a Ferronorte deverá passar por municípios responsáveis por grande parte da produção de soja em grão do país. Alguns deles são: Vilhena – RO, Jataí – GO e Uberlândia – MG.

O último trecho de ferrovia previsto em projeto deverá ligar trechos já construídos da Ferrovia Norte-Sul. Como é possível verificar no mapa da Figura 5.11, há um trecho da ferrovia que liga Estreito – MA a Açailândia – MA e outro que liga Uberlândia – MG a Anápolis – GO. O objetivo do projeto é ligar esses dois trechos, construindo a estrada de ferro de deverá ligar os municípios de Anápolis – GO e Estreito – MA, além do que liga Açailândia – MA ao Porto de Vila do Conde.

Note que com estas extensões, as regiões dos estados do Mato Grosso e de Goiás deixarão de ser conectadas apenas por rodovias. Para garantir uma melhor visualização, o mapa da Figura 5.11 mostra apenas as ferrovias (construídas e em projeto) e as hidrovias.

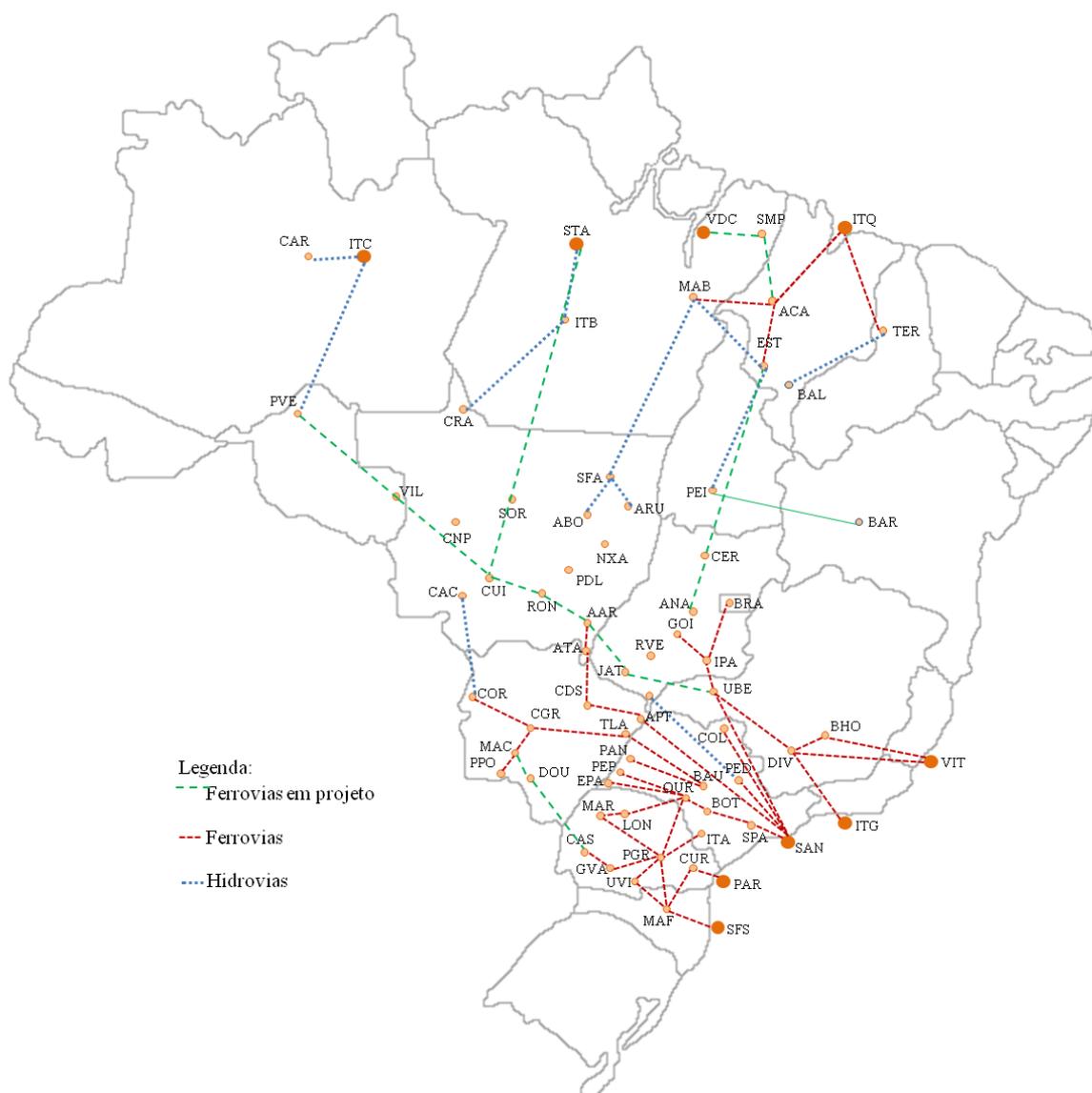


Figura 5.11: Ferrovias em projeto

Alguns estudos, como Coeli (2004) e Branco (2007), trataram do potencial da Ferronorte e da Ferrovia Norte Sul, respectivamente, em atender a demanda por transporte ferroviário em sua área de influência. O que se observou, em ambos os estudos, foi que esses novos trechos absorveriam de imediato a oferta de produtos dessas áreas. É importante mencionar, no entanto, que em nenhum dos estudos foram considerados custos fixos de instalação da estrada de ferro e de infraestrutura de apoio, como terminais e armazéns. Nesse caso, a vantagem econômica do transporte ferroviário, no lugar do rodoviário, foi baseada apenas no valor do frete por tonelada de produto. Essas mesmas considerações foram adotadas para esse estudo.

É intuitivo pensar que o transporte por meio de ferrovias é sempre mais vantajoso, em termos econômicos, do que por meio de rodovias, principalmente em se tratando do transporte de carga por longas distâncias. Recentemente, Brito (2010) chamou atenção para uma questão que chamou de “situação inédita”. Na área de abrangência do Porto de Itaqui, no Maranhão, atualmente, o custo ferroviário para o transporte de soja é equivalente ao custo rodoviário, aproximadamente US\$75 por tonelada.

Um estudo feito pelo Instituto de Logística e *Supply Chain* (ILOS) (Barros e Lobo, 2009), mostra os principais motivos, apontados por profissionais de logística, que explicam a preferência pelas rodovias ao invés das ferrovias. Os três fatores mais apontados foram:

1. Indisponibilidade de rotas
2. Custo total não compensador
3. Indisponibilidade de vagões

A falta de capacidade, representada pela indisponibilidade de vagões, aparece apenas em terceiro lugar. Os custos e a falta de rotas estão na frente e foram votados por 28% e 34% dos profissionais, respectivamente. Esse estudo não é específico do setor agroindustrial. Ele representa, no entanto, a visão que os profissionais da logística de empresas de vários segmentos têm do sistema de transporte ferroviário brasileiro. (Barros e Lobo, 2009)

5.5.1. Experimento com a Rede 3 sem capacidades

O mapa da Figura 5.12 mostra o comportamento dos fluxos de soja após a construção dos trechos ferroviários citados anteriormente, sem considerar restrições de capacidade. Alguns trechos das novas ferrovias instaladas passaram a ser utilizados em detrimento das rodovias: (1) Vilhena-RO – Porto Velho-RO, (2) Sorriso-MT – Santarém-PA, (3) Dourados-MS – Cascavel-PR e (4) Rondonópolis-MT – Alto Araguaia-MT. Para escoar a soja considerada, foi necessária a instalação de $p = 22$ terminais intermodais.

As Redes 2 e 3, ambas sem restrições de capacidade, escoam toda a produção de soja ao menor custo possível com a instalação de 22 terminais intermodais. No entanto, quando são comparados os valores das funções objetivos de cada experimento, é possível verificar uma redução de 4% no valor do custo do experimento

com a Rede 3 em relação ao com a Rede 2. Considerando que a movimentação de soja no Brasil movimenta milhões de dólares todos os anos, uma redução de 4% pode representar uma economia expressiva nos custos logísticos totais.

Diante dessa informação, podem ser feitas algumas análises. Uma delas, para ilustrar mais uma vez o potencial da ferramenta, é verificar quanto é possível se reduzir do custo operacional do escoamento da soja quando são realizadas mudanças infraestruturais da rede. Tendo conhecimento dos custos fixos envolvidos e de outras questões que deverem ser levadas em consideração, esse tipo de análise vem para colaborar com a tomada de decisão. O impacto de decisões infraestruturais no custo variável da operação pode ser decisivo ao término da avaliação.

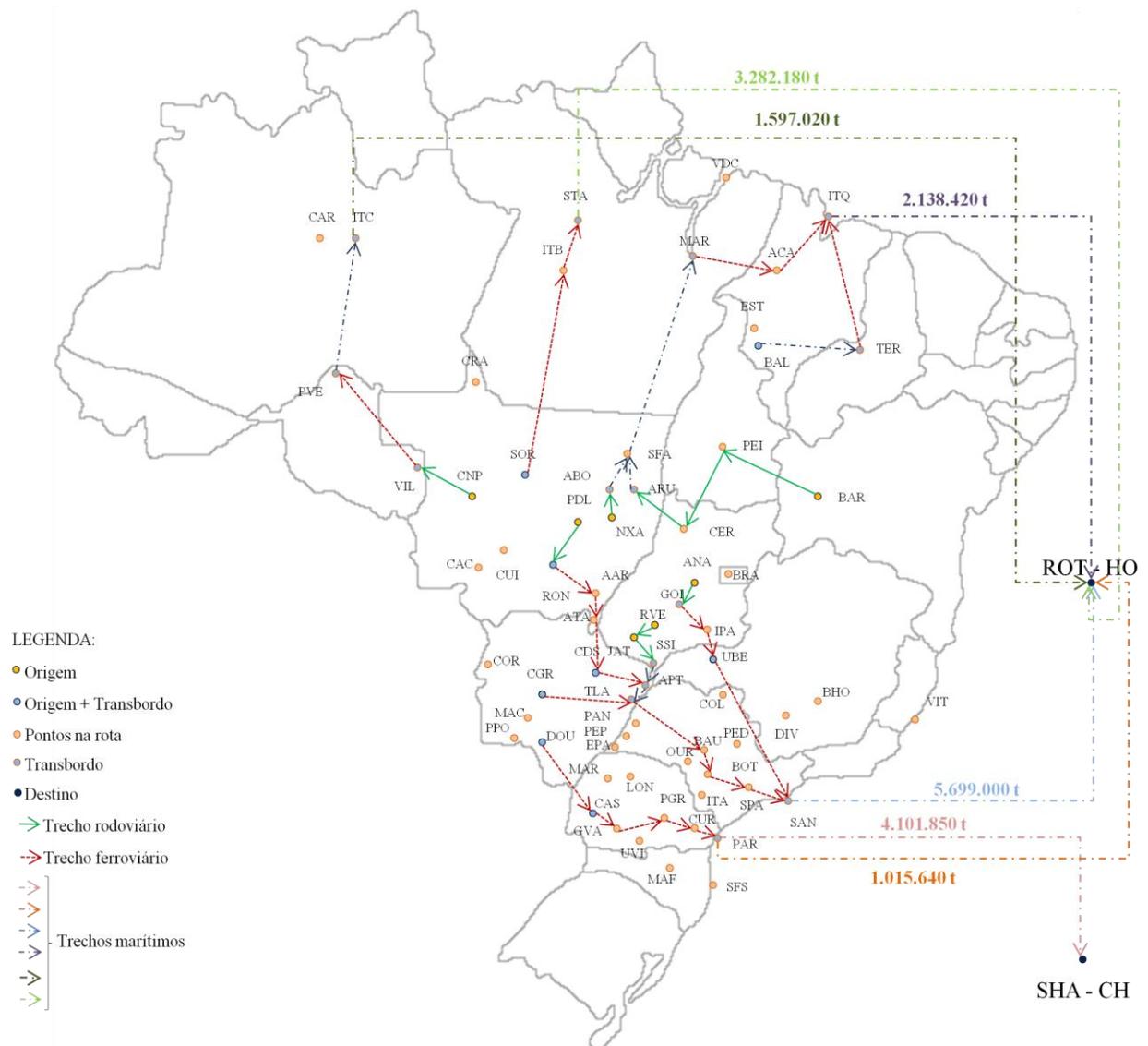


Figura 5.12: Fluxos de soja da Rede 3

5.5.2. Restrição de capacidade dos portos de Santarém, Itaquí, Santos e Itacoatiara

O mapa da Figura 5.13 representa o fluxos da soja da Rede 3 capacitada nos portos. A percepção mais imediata é a da utilização de mais dois trechos ferroviários que não haviam sido utilizados: Sorriso-MT – Cuiabá-MT e Cuiabá-MT – Rondonópolis-MT. Com as restrições de capacidade impostas, como aconteceu anteriormente em todos os experimentos, os fluxos são redirecionados da forma mais econômica possível. O custo total deverá ser superior ao do experimento sem restrições de capacidade. O importante é fazer com que esse aumento de custo seja o menor possível.

Para escoar toda a produção de soja foi preciso instalar 27 terminais, 5 a mais do que do que no experimento anterior.

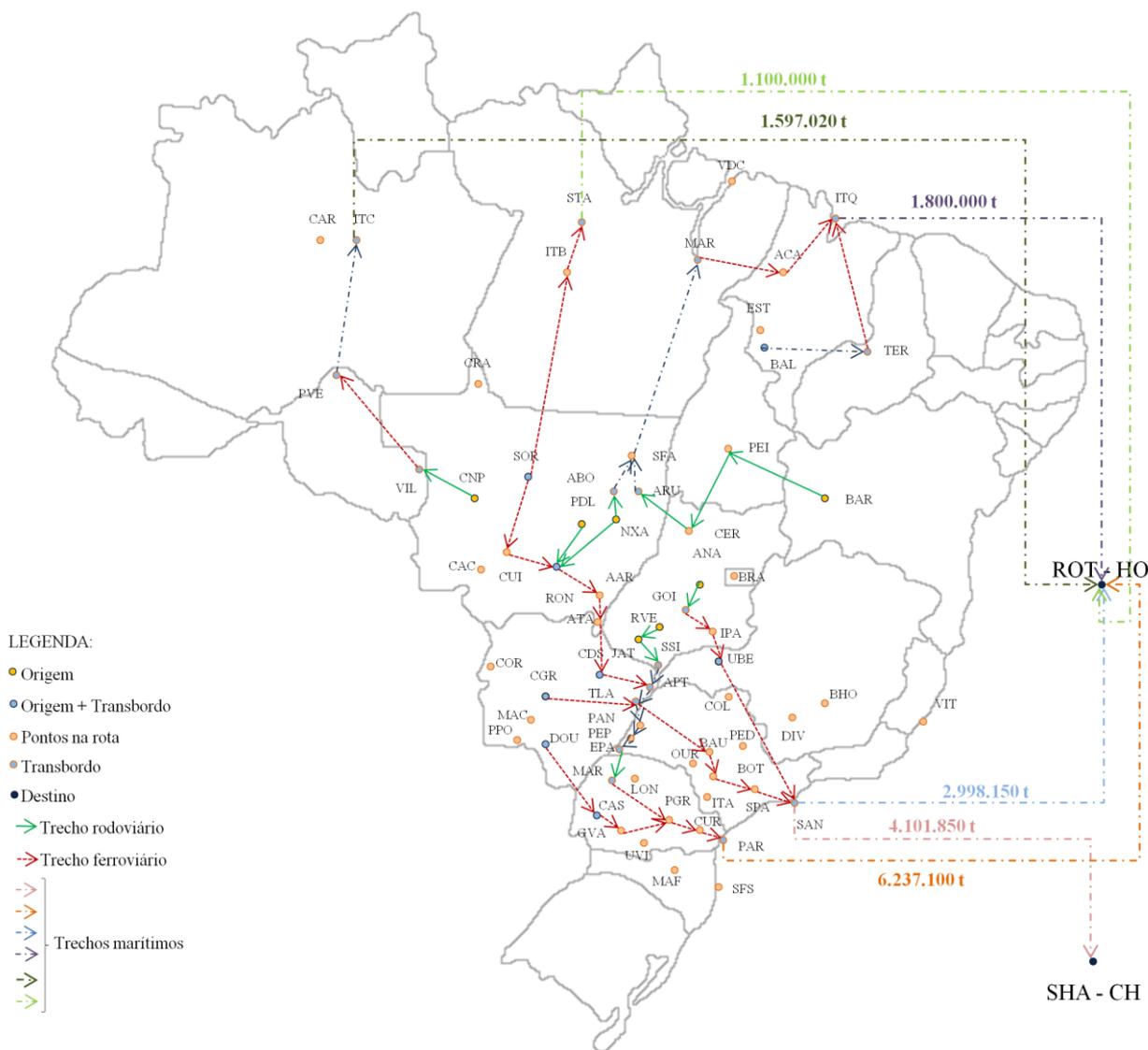


Figura 5.13: Fluxos de soja da Rede 3 capacitada

5.6. Comentários gerais

Ao longo deste capítulo, foram apresentados e analisados os resultados de experimentos com a rede atual de escoamento da soja em grão brasileira destinada à exportação. Foi possível contemplar situações sem restrições de capacidade, situações com restrições de capacidade e cenários futuros onde foram incorporados elementos (arcos ou nós) que ainda não fazem parte da rede da soja atual. Foram apresentadas diversas análises com o intuito de ilustrar o potencial de utilização do modelo matemático proposto nesta pesquisa. É importante ressaltar que os resultados de ferramentas como essa são totalmente dependentes da qualidade e precisão dos dados utilizados. Obviamente, dados que não representem com rigor a realidade que se deseja representar resultarão em conclusões erradas, que podem levar a decisões equivocadas.

CAPÍTULO 6 – Considerações finais

6.1. Conclusões

A soja é considerada hoje em dia um dos principais produtos da pauta de exportações do Brasil. Dos grãos produzidos no país, a soja corresponde a quase metade do volume total. Ao longo dos anos, com a interiorização das lavouras de soja e com seu crescimento nas exportações brasileiras, várias das fragilidades infraestruturais do sistema de transporte de cargas do país foram expostas. Não só a precariedade das vias de acesso aos portos, como também da infraestrutura de apoio, como armazéns e terminais intermodais.

A infraestrutura insuficiente e as grandes distâncias a serem percorridas do interior do Brasil, onde se concentram as lavouras de soja, até os portos marítimos no litoral, colocaram produtores e movimentadores de carga diante de um grande desafio logístico. Neste cenário, os principais atores envolvidos optaram por investir na intermodalidade. O transporte intermodal tem sido indicado por especialistas no mundo inteiro como uma forma de movimentar produtos capaz de gerar economias importantes, visto aproveitar o melhor de cada um dos modais de transporte disponíveis.

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, pôde-se observar um crescimento da atenção dada à logística de escoamento de produtos agroindustriais destinados à exportação. Jornais de grande circulação nacional, sites especializados, dentre outros veículos de comunicação e informação, têm mostrado, de um lado, o potencial mal explorado do Brasil na exportação de produtos agroindustriais e na infraestrutura logística e, de outro, a preocupação do Governo, das empresas envolvidas, das agências financiadoras de projetos e de grupos de pesquisa nas universidades, em promover melhorias neste sentido.

Tem-se observado também por parte desses agentes, um forte incentivo à utilização da intermodalidade no escoamento de produtos agroindustriais. Isso pode ser verificado nos projetos de construção de novos trechos ferroviários, segundo

informações da ANTT, que permitam o acesso a áreas antes conectadas apenas por rodovias. E também da construção de novas eclusas em vários trechos de rios ainda não navegáveis, segundo a ANTAQ. Dessa forma, o que se percebe é que o Brasil passou a contar com esses diversos agentes para se tornar, no futuro, um país integrado e operacionalmente eficiente, do ponto de vista do sistema de transporte para escoamento de cargas.

Brito (2010), recentemente relatou o problema encontrado pelos que produzem soja e escoam sua produção pelo Porto de Itaqui, no Maranhão. A infraestrutura precária para o escoamento faz com que esses produtores arquem, atualmente, com custos de exportação superiores aos dos principais concorrentes internacionais. O projeto da expansão da Ferrovia Norte Sul, já mencionado em capítulos anteriores nesta dissertação, trará poucos benefícios se a capacidade do Porto de Itaqui, por exemplo, não for aumentada em tempo. A estimativa dos 8 milhões de toneladas transportados pela ferrovia esbarrariam na atual capacidade de movimentação do porto de apenas 2 milhões de toneladas por ano.

Outra informação importante mencionada no artigo é que, segundo o Ministério da Agricultura, aproximadamente “20 milhões de toneladas de grãos produzidos no país são desviados para portos mais distantes do que sugere qualquer planejamento logístico”. Diante de cenários como esse é que se passou a falar em “apagão logístico”, termo que retrata a enorme lacuna que há entre o desenvolvimento tecnológico nas áreas produtoras e a infraestrutura logística disponível para o escoamento de safras cada vez maiores.

Como parte do movimento em prol da melhoria da eficiência da logística de carga do Brasil, agências financiadoras de projetos, como já mencionado anteriormente, passaram a investir em pesquisas que gerassem contribuições significativas para as várias questões colocadas em discussão atualmente. Um exemplo é o projeto ALOGTRANS, financiado pela FINEP e mencionado no primeiro capítulo desta dissertação, com o objetivo de estudar alguns dos principais Corredores de Exportação de produtos agroindustriais no Brasil.

A presente pesquisa foi inspirada neste projeto e teve como objetivo estudar e aplicar um modelo de localização de instalações que incorporasse decisões de fluxo para auxiliar no planejamento infraestrutural da rede de escoamento da soja em grão brasileira destinada à exportação. A idéia foi desenvolver um modelo de

programação matemática capaz de fornecer o melhor número e localização de terminais intermodais necessários para fluir com menor custo possível a soja em grão brasileira destinada à exportação, além de, sob restrições de capacidade, determinar os fluxos em cada rota.

Como foi possível observar nos capítulos 4 e 5 desta dissertação, o modelo desenvolvido respondeu satisfatoriamente ao objetivo proposto. Os testes preliminares feitos no capítulo 4 com a base de dados do GEIPOT serviram não só para verificar a adequação do modelo em representar os fluxos de escoamento da soja em grão destinada a exportação, como também para mostrar o potencial da ferramenta em promover a geração de cenários futuros. Foram feitos testes para verificar a resposta do modelo às alterações de parâmetros como, por exemplo, as capacidades de terminais e vias.

No capítulo 5, a aplicação do modelo em uma rede mais atual e realista, com mais possibilidades de escoamento, mostrou o potencial de algumas das análises que podem ser feitas na prática, quando de posse desta ferramenta de otimização. Como os dados de entrada foram definidos de forma simplificada, não foi possível tirar nenhuma conclusão definitiva para o sistema real. O objetivo do capítulo 5, por essa razão, foi o que ilustrar essas análises, sem a pretensão de apresentar resultados mais conclusivos.

Uma das análises mostradas no capítulo 5 foi a da variação do valor da função objetivo do modelo quando a rede é modificada em sua estrutura. Uma vez inseridas novas possibilidades para o escoamento da soja, os resultados foram capazes de mostrar o impacto não só no comportamento dos fluxos, mas também nos custos variáveis, representados na função objetivo.

6.2. Perspectivas de pesquisas futuras

Nesta última sessão, são apresentadas as perspectivas para pesquisas futuras. Foram identificadas algumas oportunidades de continuidade e aprofundamento do tema, como, por exemplo:

1. Esta pesquisa se restringiu a estudar os fluxos de soja em grão destinada à exportação, o que equivale a aproximadamente 40% do volume total produzido. Os outros 60% da soja são destinados ao mercado interno na forma de grão, ou são processados para

serem tanto exportados quando consumidos internamente na forma de óleo e farelo de soja. Uma sugestão interessante para uma pesquisa futura seria estender o modelo para considerar os outros fluxos da soja incluindo, o percentual destinado ao mercado interno, visto que esse volume também compete pela capacidade de vias, armazéns e terminais intermodais ao longo do país;

2. Em virtude da incerteza intrínseca a alguns dados utilizados, como, por exemplo, os custos e as capacidades de movimentação, outra sugestão seria estender o modelo para considerar incertezas, com a utilização de técnicas como a Programação Estocásticas Robusta e a Otimização Robusta;
3. Em nenhum dos experimentos apresentados nesta dissertação os custos fixos de instalação de terminais intermodais foram incorporados na análise. Para pesquisa futura, seria interessante incorporar tais custos, para que análises mais amplas e genéricas pudessem ser feitas. Também seria interessante considerar outros custos além do frete nos custos variáveis, como custos de estoque em trânsito, custos associados a impostos, custos de perda, etc;
4. Os custos variáveis de transporte e transbordo foram considerados de forma linear, isto é, crescem na medida em que o volume de soja aumenta. Para se aproximar ainda mais da realidade, seria interessante estender a análise para considerar custos côncavos, permitindo, assim, considerar as eventuais economias de escala geradas com o aumento do volume da carga movimentada.

REFERÊNCIAS:

ABIOVE. **Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais**. Disponível em: <http://www.abiove.com.br/estatistica_br_0809.html>. Acesso em 05 Mai 2009.

Ahuja, R. K.; Magnanti, T. L.; Orlin, J. B. **Network Flows: theory, algorithms and applications**. 1. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1993.

Arenales, M.; Armentano, V.; Morabito, R.; Yanasse, H. **Pesquisa Operacional**. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus / Elsevier, 2006. (Coleção ABEPRO)

Amaral, D. **A construção do Brasil novo**. 1. ed. Brasília: Senado Federal, 2003.

Amaral, M.; Almeida, M. S.; Morabito, R. **Um modelo de localização de terminais intermodais para exportação de soja no Brasil**. In: Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha. 2009. Rio de Janeiro: Anais do SPOLM, 2009.

Amaral, M.; Almeida, M.S.; Morabito, R. **Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação**. Submetido para publicar na Gestão e Produção, 2010.

Andersen, V. L.; Stupello, B.; Leal, M. B. S.; Cardoso, J. F. L.; Pinto, M. M. O. **Avaliação da capacidade dos terminais de grãos agrícolas utilizados para escoamento da produção do Centro-Oeste brasileiro**. Centro de Estudos em Gestão Naval. Disponível em: <<http://www.gestaonaval.org.br>>. Acesso em 10 Fev 2010.

ANTAQ. **Agência Nacional de Transportes Aquaviários**. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/Portos/Santos.pdf>>. Acesso em 12 Mar 2009.

ANTT. **Agência Nacional de Transportes Terrestres**. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/relatorios/ferroviario/concessionarias2007/index.asp>>. Acesso em 20 Fev 2009.

Arnold, P.; Peeters, D.; Thomas, I.; Marchand, H. **Pour une localisation optimale des centres de transbordement intermodaux entre réseaux de transport: formulation at extensions**. The Canadian Geographer. 45 (3). p 427-436. 2001.

Arnold, P.; Peeters, D.; Thomas, I. **Modeling a rail/road intermodal transportation system**. Transportation Research Part E. 40. p 255-270. 2004.

Barros, M. e Lobo, A. **Panorama das ferrovias brasileiras**. Tecnológica (Out), p 70 – 106, 2009.

- Baio, F. H. R. *et al.* **Modelo de programação linear para seleção de pulverizadores agrícolas de barras.** Engenharia Agrícola (Impresso), Vol. 24, n. 02, p. 355-363, 2004.
- Bertrand, J. W. M.; Fransoo, J. C. **Operations management research methodologies using quantitative modeling.** International Journal of Operations & Production Management.v.22. n.2, p 241-264. 2002.
- Branco, J. E. H. **Estimativa de demanda captável pela Estrada de Ferro Norte-Sul.** 160 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.
- Brito, A. **Apagão logístico impede o avanço do agronegócio.** In: Folha de São Paulo, Dinheiro, 7 Fev 2010.
- Bulhões, R., Caixeta Filho, J. V.. **Análise da distribuição logística da soja na região Centro-Sul do Brasil através de um modelo de equilíbrio espacial.** Teoria e Evidência Econômica. 8 (15). p 11-23. 2000.
- Capacle, V. H.; Ramos, P. **A precariedade do transporte rodoviário brasileiro para o escoamento da produção de soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas.** In: Anais do XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Sociologia e Administração Rural, 2008, Rio Branco - AC. XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Sociologia e Administração Rural, 2008.
- Carvalho, M. D. de; Santoro, M. **Planejamento e controle da produção vinculados às variações de preços de açúcar e álcool no mercado futuro utilizando programação matemática.** In: Anais International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, ABEPRO, Rio de Janeiro, 2008.
- Chang, T.. **Best routes selection in international intermodal networks.** Computers & Operations Research. 35. p 2877 – 2891. 2008.
- Coeli, C. C. M. **Análise da demanda por transporte ferroviário: o caso do transporte de grãos e farelo de soja na Ferronorte.** 136 p. Dissertação (Mestrado em Administração). Instituto COPPEAD de Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- Costa, L. R. **O problema de localização capacitado em dois níveis e sua aplicação ao planejamento de logística reversa.** 169 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Instituto COPPE de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- Crainic, T. G.; Laporte, G. **Planning models for freight transportation.** European Journal of Operational Research. 97. p 409 – 438. 1997.

Dasci, A.; Laporte, G. **A continuous model for multistore competitive location**. INFORMS. 53 (2). p 263 – 280. 2005.

Daskin, M. **Network and Discrete Location: models, algorithms and applications**. 1. ed. Wiley Interscience, New York, 1995.

DNIT. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes**. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/>>. Acesso em 23 Set 2009.

Dubke, A. F. **Modelo de localização de terminais especializados: um estudo de caso em corredores de exportação da soja**. 178 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/>>. Acesso em 14 Abr 2009.

FNP *online*. **AgraFNP Consultoria**. Disponível em: <<http://www.fnp.com.br/>>. Acesso em 10 Out 2009.

FAEMG. **Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Minas Gerais**. Disponível em: <<http://www.faemg.org.br/>>. Acesso em 7 Ago 2009.

FAEP. **Federação da Agricultura do Estado do Paraná**. Disponível em <www.faep.com.br/>, Acesso em 5 Set 2009.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em<<http://www.fao.org/>>. Acesso em 23 Mai 2009.

Fernandes, G. S.; Cezar, M. S. **A logística de transportes da cadeia abastecedora de arroz na região do SINOP: tratamento mediante os métodos quantitativos**. Custos e Agronegócio on line. Vol 1. N 2. p 45-69. 2005.

Ferrari, R. C.. **Utilização de modelo matemático de otimização para identificação de locais para instalação de unidades armazenadoras de soja no Estado do Mato Grosso**. 186 p. Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

Fourer, R.; Gay, D. **AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming**. 1. ed. Cole Publishing Company, 2002.

Galvão, R. D. **Modelos e algoritmos para problemas de localização em redes**. Pesquisa Operacional. Vol 1. N 1. 1981.

GEIPOT. **Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes**. Disponível em: <http://www.geipot.gov.br/estudos_realizados/soja/index.htm>. Acesso em 03 Jan 2009.

GEIPOT. **Análise de rotas alternativas para escoamento da produção de soja**. Relatório técnico, 2001.

Ghiani, G.; Laporte, G.; Musmanno, R. **Introduction to logistics systems planning and control**. Wiley, West Sussex, 2004.

Goetz, A. R.; Rodrigue, J. P. **Transport terminals: new perspectives**. Journal of Transport Geography. N 7. p 237-240. 1999.

Gonçalves, G. I.; Widmer, J. A. **Perspectivas de integração modal rodo-hidro-ferroviária na exportação de produtos agrícolas e minerais no estado de Mato Grosso do Sul**. In: XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Fortaleza, CE. Anais do XXI, 2008.

Hillier, F.S., Lieberman, G.J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006;

Hirsch, R. G. **Custo de Produção de soja em sorriso, MT para a safra 99/00**. Relatório (Iniciação Científica) Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000.

IEA. **Instituto de Economia Agrícola**. Disponível em <<http://www.iea.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 Mar 2010.

Iannoni, A. P.; Morabito, R. **Análise do Sistema Logístico de Recepção de Cana-de-açúcar: Um estudo de Caso Utilizando Simulação Discreta**. Gestão & Produção, São Carlos, Vol 9, N 2, p 107 – 128, 2002.

Iannoni, A. P.; Morabito, R.; **A discrete simulation analysis of a logistics supply system**, *Transportation Research*, E 42, 3, 191-210, 2006.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1612&z=p&o=22>>. Acesso em 03 Abr 2009.

Junqueira, R. A. R.; Morabito, R. **Um modelo de otimização linear para o planejamento agregado da produção e logística de sementes de milho**. Produção. N 16. p 510-525. 2006.

Lopes, R. L.; Caixeta Filho, J. V. **Suinocultura no estado de Goiás: aplicação de um modelo de localização**. Pesquisa Operacional. Vol 20. N 2. p 213 – 232. 2000.

Kussano, M.R. **O custo logístico do escoamento da soja brasileira para o mercado externo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

Macharis, C.; Bontekoning, Y. M. **Opportunities for OR in intermodal freight transport research: a review.** European Journal of Operational Research, N 153, p 400-416. 2004.

MDIC. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio.** Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/sitio/>>. Acesso em 15 Out 2009.

Milan, P. **Modelagem matemática para a otimização de produção de cafés finos: um estudo de caso.** 111 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

Morabito, R., Pureza, V. **Modelagem e Simulação. Em: Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações.** P. C. Miguel (ed.). Editora Campus / Elsevier, 2009.

Mongabay. Disponível em: <www.mongabay.com>. Acesso em 10 Out. 2009.

Munhoz, J. R.; Morabito, R. **Um modelo baseado em programação linear e programação de metas para análise de um sistema de produção e distribuição de suco concentrado congelado de laranja.** Gestão & Produção, São Carlos, Vol 8, N 2, p 139 – 159, 2001.

Munhoz, J. R. **Otimização no planejamento agregado de produção em indústrias de processamento de suco concentrado congelado de laranja.** 166 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

Ojima, A. L. R. O. **Análise da movimentação logística e competitividade da soja brasileira: uma aplicação de um modelo de equilíbrio espacial de programação quadrática.** 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

Ojima, A. L. R. O. **Transporte de soja do Estado do Mato Grosso para exportação: uma aplicação de programação linear.** Revista de Economia Agrícola. N 54. p 33-41. 2007.

Oliveira, A. L. R. **Otimização de recebimento e distribuição em unidades armazenadoras de soja.** 165 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005a.

Oliveira, A. M. K. (2005b). **Potencial da logística ferroviária para movimentação de açúcar para exportação no Estado de São Paulo: recomendações de localização para armazéns**

intermodais concentradores de carga. 166 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005b.

Paiva, R. P. O. **Um modelo baseado em seleção de processos e dimensionamento de lotes para planejamento agregado da produção em usinas de açúcar e álcool.** 202 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

Paiva, R. P. O.; Morabito, R. **An optimization model for the aggregate production planning of a Brazilian sugar and ethanol milling company.** In: Annals of Operations Research. p. 1. 2008.

Paiva, R. P. O. **Modelagem do planejamento agregado da produção em usinas cooperadas do setor sucroenergético utilizando programação matemática e otimização robusta.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

ReVelle, C. S.; Eiselt, H. A.; Daskin, M. S. **A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science.** European Journal of Operational Research. N 184. p 817 – 848. 2007.

SECEX. **Secretaria de Comércio Exterior.** Disponível em:
<<http://www2.desenvolvimento.gov.br/sitio/secex/secex/competencia.php>>. Acesso em 12 Set 2008.

Silva Neto, W. A.; Caixeta Filho, J. V. **Logística da exportação de carne bovina: uma aplicação em programação linear.** Revista de Economia Mackenzie (Impresso), Vol. 7, p. 1-10, 2009.

Silveira, J. V. F. **Estratégias de segmentação de mercado no agronegócio: o caso da inserção da soja transgênica no estado do Paraná.** 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2005.

Taniguchi, E.; Noritake, M.; Yamada, T.; Izumitani, T. **Optimal size and location planning of public logistics terminals.** Transportation Research Part E. 35. p 207 – 222. 1999.

Xavier, C. E. O. **Localização de tanques de armazenagem de álcool combustível no Brasil.** 177 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

ANEXO A – Siglas dos municípios representados nas Redes 1, 2 e 3

AAR	Alto Araguaia	JAT	Jataí
ABO	Água Boa	LON	Londrina
AÇA	Açailândia	MAB	Marabá
ANA	Anápolis	MAC	Maracaju
APT	Aparecida do Taboado	MAF	Mafra
ARU	Aruanã	MAR	Maringá
ATA	Alto Taquari	NXA	Nova Xavantina
BAL	Balsas	OUR	Ourinhos
BAR	Barreiras	PAN	Panorama
BAU	Bauru	PAR	Paranaguá
BHO	Belo Horizonte	PDL	Primavera do Leste
BOT	Botucatu	PED	Pederneiras
BRA	Brasília	PEI	Peixes
CAC	Cáceres	PEP	Presidente Epitácio
CAR	Careiro	PGR	Ponta Grossa
CAS	Cascavel	PPO	Ponta Porã
CDS	Chapadão do Sul	PVE	Porto Velho
CER	Ceres	RON	Rondonópolis
CGR	Campo Grande	ROT	Rotterdam
CNP	Campo Novo do Parecis	RVE	Rio Verde
COL	Colônia	SAN	Santos
COR	Corumbá	SFA	São Félix do Araguaia
CRA	Cachoeira Rasteira	SFS	São Francisco do Sul
CUI	Cuiabá	SHA	Shangai
CUR	Curitiba	SMP	Santa Maria do Pará
DIV	Divinópolis	SOR	Sorriso
DOU	Dourados	SPA	São Paulo
EPA	Euclides da Cunha Paulista	SSI	São Simão
EST	Estreito	STA	Santarém
GOI	Goiânia	TER	Terezina
GVA	Guarapuava	TLA	Três Lagoas
IPA	Ipameri	UBE	Uberlândia
ITA	Itapeva	UVI	União da Vitória
ITB	Itabira	VDC	Vila do Conde
ITC	Itacoatiara	VIL	Vilhena
ITG	Itaguaí	VIT	Vitória
ITQ	Itaqui		

Tabela A: Siglas dos municípios representados nas Redes 1, 2 e 3

ANEXO B – Custos

Frete	Valor (R\$ x km/t)
Rodoviário*	0,1003
Ferrovário**	0,0853
Hidroviário**	0,0463

Tabela B1: Custos de frete

Fontes: *Sifreca, **ALL

Transbordo	Valor (R\$/t)
Rodo-ferrovário	2,38
Ferro-rodoviário	2,38
Rodo-hidroviário	2,60
Hidro-rodoviário	2,60
Ferro-hidroviário	2,60
Hidro-ferrovário	2,60

Tabela B2: Custos de transbordo

Fonte: ALL

Nas Tabelas B3 e B4, é possível observar os valores dos custos de embarque nos portos e do transporte marítimo, ambos em R\$/t. Os custos foram retirados do estudo do GEIPOT (2001). Apesar de desatualizados, esses dados de custo promovem a diferenciação entre os portos que embarcam soja atualmente, já que, por hipótese, mantêm a proporção em relação aos valores praticados atualmente. Como estes custos influenciam diretamente nos fluxos de movimentação do grão dentro do país, optou-se por não desconsiderá-los.

Porto	Valor (R\$/t)
São Francisco do Sul	17
Paranaguá	18
Santos	25
Vitória	8
Itaqui	18
Vila do Conde	18
Santarém	18
Itacoatiara	18

Tabela B3: Custos de embarque nos portos

Fonte: GEIPOT (2001)

Origem	Destino	Valor (R\$/t)
São Francisco do Sul	Rotterdam	30
São Francisco do Sul	Shangai	63
Paranaguá	Rotterdam	30
Paranaguá	Shangai	63
Santos	Rotterdam	30
Santos	Shangai	63
Vitória	Rotterdam	30
Vitória	Shangai	63
Itaqui	Rotterdam	27
Itaqui	Shangai	63
Vila do Conde	Rotterdam	27
Vila do Conde	Shangai	63
Santarém	Rotterdam	27
Santarém	Shangai	63
Itacoatiara	Rotterdam	27
Itacoatiara	Shangai	63

Tabela B4: Fretes marítimos

Fonte: GEIPOT (2001)