

Otimização Logística para o Transporte Multimodal de Safras Agrícolas no Brasil com Foco no Corredor Nordeste¹

RESUMO

Apresenta os principais resultados de projeto de pesquisa cujos objetivos eram a identificação dos entraves à multimodalidade na logística de cargas agrícolas e agroindustriais no Brasil. Em especial, enfoca o chamado Corredor Nordeste. Foi conduzida uma pesquisa de campo com o intuito de estudar o problema sob o ponto de vista dos agentes diretamente envolvidos, especialmente transportadores e embarcadores (usuários dos serviços de transporte). Também foi desenvolvido um modelo matemático de otimização com o objetivo de identificar os efeitos de eventuais projetos de investimento em infraestrutura de transporte visando promover a multimodalidade no referido corredor. Os resultados obtidos permitem uma adequada compreensão do problema da deficiência infraestrutural da multimodalidade. O modelo de otimização — aplicado a um cenário atual e a um futuro (ano de 2015) — pode contribuir para a tomada de decisão de investidores públicos e privados visando corrigir os entraves, conferindo maior eficiência e competitividade para o transporte multimodal. Dessa forma, a pesquisa procura contribuir com reflexões para o desenvolvimento socioeconômico da região Nordeste do Brasil.

PALAVRAS-CHAVE

Logística. Safras. Multimodalidade. Região Nordeste.

¹ Este artigo resume parte dos resultados obtidos pelo projeto intitulado “Modelo Matemático de Otimização Logística para o Transporte Multimodal de Safras Agrícolas pelo Corredor Nordeste”, desenvolvido por meio do Convênio 01.07.0772.00, estabelecido entre a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e a Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ), executado pela Universidade de São Paulo (USP), por intermédio da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), através do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG), tendo ainda como co-executora a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB).

José Eduardo Holler Branco

- Vice-coordenador do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ-LOG), Universidade de São Paulo (USP).

José Vicente Caixeta Filho

- Professor Titular do Departamento de Economia, Administração e Sociologia Rural;
- Coordenador do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial da ESALQ-LOG (USP).

Augusto Hauber Gameiro

- Professor do Departamento de Nutrição e Produção Animal, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo;
- Pesquisador convidado do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial da ESALQ-LOG (USP).

Carlos Eduardo Osório Xavier

- Pesquisador do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial da ESALQ-LOG (USP).

Maria Andrade Pinheiro

- Pesquisador do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial da ESALQ-LOG (USP).

Warli Anjos de Souza

- Professor Adjunto da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

1 – INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta os principais resultados de projeto de pesquisa cujo objetivo geral era a identificação dos entraves à multimodalidade na logística de cargas agrícolas e agroindustriais no Brasil. Em especial, foi focado o chamado corredor Nordeste. Como objetivos específicos, tinham-se: i) a realização de pesquisa de campo com o intuito de estudar o problema sob o ponto de vista dos agentes diretamente envolvidos, especialmente transportadores e embarcadores (usuários dos serviços de transporte); e ii) o desenvolvimento de modelo matemático de otimização como auxiliar na identificação dos efeitos de eventuais projetos de investimento em infraestrutura de transporte visando promover a multimodalidade no referido corredor. Foram considerados os principais produtos do setor agrícola nacional: açúcar, álcool, milho, soja, óleo e farelo de soja e trigo.

O chamado “corredor Nordeste” é composto pelos Estados da Bahia (BA), Sergipe (SE), Alagoas (AL), Pernambuco (PE), Paraíba (PB), Ceará (CE), norte de Minas Gerais (MG), sul do Piauí (PI) e sul do Maranhão (MA).

O modal rodoviário é composto por rodovias federais, estaduais e municipais. Essas rodovias têm papel de destaque no escoamento da produção agrícola. Dentre as rodovias federais, destacam-se a BR-101, BR-230, BR-242, BR-222, BR-020 e a BR-407. O modal ferroviário também revela grande importância para o escoamento da produção do corredor. As empresas em operação ou planejadas são: a Ferrovia Centro-Atlântica S.A. (FCA), a Ferrovia Transnordestina e a Ferrovia Oeste-Leste.

No modal hidroviário, o corredor possui a Hidrovia do Parnaíba e a bacia do rio São Francisco. A Hidrovia do Parnaíba tem extensão aproximada de 1.600km, e é constituída pelos rios Parnaíba e Balsas. Desde a implantação inacabada do sistema de transposição da barragem de Boa Esperança – que permitiria o fluxo de comboios hidroviários desde Uruçuí (PI) até Teresina (PI) –, as discussões a respeito da hidrovia ganharam força novamente em função das expectativas de investimentos geradas pelo Plano de Aceleração do Crescimento (PAC). Os principais obstáculos

existentes à navegação no rio Parnaíba são bancos de areia e alguns afloramentos rochosos. Já a bacia do rio São Francisco tem uma área de aproximadamente 645.000km², que abrange os Estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, além do Distrito Federal. Atravessa regiões com diferentes condições naturais. As partes extremas superiores e inferiores da bacia apresentam bons índices pluviométricos, enquanto os seus cursos médio e submédio atravessam áreas de clima bastante seco. A hidrovia do São Francisco tem acesso a importantes regiões de produção agrícola, como a região do oeste Baiano (que abriga Barreiras e Luís Eduardo Magalhães) e, apesar de não possuir saída para o Oceano Atlântico, ela se destaca como uma alternativa competitiva de desenvolvimento de um sistema multimodal de transporte no corredor Nordeste. O rio São Francisco é navegável em seus trechos médio e baixo, sendo o Médio São Francisco compreendido entre Pirapora (MG) e Petrolina (PE)/Juazeiro (BA) e o Baixo, entre Piranhas (AL) e a foz.

Em relação ao modal marítimo, o corredor Nordeste apresenta como alternativa para o escoamento da produção os portos de Ilhéus (BA), Aratu (BA), Salvador (BA), Aracaju (SE), Maceió (AL), Suape (PE), Recife (PE), Cabedelo (PB), Natal (RN), Pecém (CE) e Fortaleza (CE).

A divisão político-geográfica brasileira não coincide com a divisão do país em seus corredores logísticos. Estes são constituídos por áreas que possuem, em comum, fluxos predominantes de escoamento. O Mapa 1 apresenta a área de influência do corredor Nordeste.

A fim de levantar mais informações sobre os corredores de escoamento, especificamente do corredor Nordeste, o Grupo ESALQ-LOG, associado à Universidade de São Paulo (USP), por meio de sua Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) e a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), realizou, entre os meses de abril e julho de 2008, visitas a campo no corredor em questão. As visitas foram subsidiadas pela Finep (Financiadora de Estudos e Projetos) através dos recursos alocados para a realização da meta física, “Pesquisa de Campo” vinculada a este projeto.

Corredor Nordeste



Mapa 1 – Área de Influência do Corredor Nordeste

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

A pesquisa de campo teve como objetivo levantar, junto aos principais agentes embarcadores e transportadores do corredor, informações sobre as condições da infraestrutura atual, sobre os fluxos das principais *commodities* agrícolas pelo corredor, sobre as localidades que realizam operação de transbordo² e a respeito das impedâncias logísticas³ apontadas pelos agentes envolvidos com o sistema de transporte nas regiões visitadas. Além disso,

visou-se buscar informações sobre investimentos previstos pela iniciativa pública e privada, informações relevantes para desenvolver um panorama logístico a respeito da movimentação dos produtos agrícolas de interesse. Os dados coletados, além de promoverem o enriquecimento do estudo com informações qualitativas, também permitem o ajuste do modelo matemático utilizado na otimização logística para o transporte multimodal⁴ das safras agrícolas.

Ademais, a pesquisa junto aos agentes possibilita um adequado comparativo com as informações levantadas

² Transbordo é a operação de baldeação: mudança da carga de um local ou veículo para outro. Por exemplo, a movimentação da carga de uma carreta de caminhão para o vagão de um trem.

³ Entende-se por “impedâncias logísticas” qualquer entrave físico ou regulamentar que crie oposição ou resistência ao desenvolvimento de práticas logísticas, como o transporte, a armazenagem, a movimentação física, dentre outras.

⁴ Embora os termos “multimodal” e “intermodal” sejam distintos, para fins de padronização, neste trabalho, será adotada a denominação “multimodal” toda vez em que se fizer referência ao uso integrado de mais de uma modalidade de transporte.

na revisão bibliográfica, permitindo a montagem de cenários econômicos mais próximos da realidade, facilitando a compreensão das especificidades das movimentações agrícolas de cada região visitada.

Este artigo está organizado como se segue. Após esta introdução, o item 2 abordará a metodologia da pesquisa de campo e do desenvolvimento do modelo matemático de otimização logística. O item 3 apresenta e discute os resultados desses esforços. O quarto e último item traz as considerações finais da pesquisa.

2 – METODOLOGIA

2.1 – Pesquisa de Campo

Apesar de este artigo ter como foco documentar os resultados decorrentes do desenvolvimento do projeto intitulado “Modelo Matemático de Otimização Logística para o Transporte Multimodal de Safras Agrícolas pelo Corredor Nordeste”, foram desenvolvidos outros dois projetos semelhantes, que foram submetidos à mesma Chamada Pública junto à Finep, denominados “Modelo Matemático de Otimização Logística para o Transporte Multimodal de Safras Agrícolas pelo Corredor Centro-Oeste” e “Modelo Matemático de Otimização Logística para o Transporte Multimodal de Safras Agrícolas pelo Corredor Centro-Norte”, que também envolveram atividades de pesquisa de campo, desenvolvidas com base no mesmo método e objetivos.

Nesse sentido, julgou-se conveniente a divulgação de todos os resultados obtidos pelos três projetos de forma conjunta, já que o compartilhamento das informações proporciona maior riqueza tanto à análise sobre os gargalos que dificultam o uso da multimodalidade nos principais corredores de

exportação do país quanto às sugestões de políticas e medidas que venham a minimizar essas impedâncias. Ademais, a interpretação conjunta dos resultados reforça as informações naquelas regiões em que ocorrem sombreamentos da área de influência de cada corredor e proporciona maior respaldo às análises estatísticas realizadas. Sendo assim, a caracterização e os resultados da atividade de pesquisa de campo realizada para os três projetos serão compartilhadas ao longo deste artigo, ainda que, para algumas análises pontuais, o corredor Nordeste seja focado.

As visitas foram realizadas entre os meses de abril e julho de 2008 e envolveram 25 pesquisadores provenientes das seguintes instituições: Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), Universidade Federal do Tocantins (UFT), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e Universidade Estadual de Maringá (UEM).

No corredor Nordeste, os seguintes municípios foram visitados pelas equipes de pesquisa: Barreiras (BA), Cruz das Almas (BA), Jequié (BA), Lençóis (BA), Luís Eduardo Magalhães (BA), Milagres (BA), Salvador (BA), Santo Antonio de Jesus (BA), Vitória da Conquista (BA), Januária (MG), Montes Claros (MG), Patos de Minas (MG), Pirapora (MG), Salinas (MG), Ipojuca (PE), Lagoa do Itaenga (PE), Olinda (PE), Recife (PE), Aracaju (SE), Barra dos Coqueiros (SE), Rosário do Catete (SE), Maceió (AL), São Miguel dos Campos (AL), Cabedelo (PB), Campina Grande (PB), Natal (RN), Crato (CE), Juazeiro do Norte (CE), Bom Jesus (PI), Teresina (PI) e Uruçuí (PI).

Foram entrevistados 242 agentes nos três corredores pesquisados, entre embarcadores (contratantes de serviços logísticos), transportadores

Tabela 1 – Aplicação de Questionários na Pesquisa de Campo (Número de Entrevistas)

Empresas	Corredor		
	Centro-Norte	Nordeste	Centro-Oeste
Embarcadores	17	26	146
Instituições	9	17	13
Transportadores	2	1	11
Total	28	44	170

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

e instituições (associações, prefeituras, órgãos de regulamentação etc.). O perfil dos entrevistados e o número de entrevistas realizadas, organizadas para cada um dos corredores considerados, são apresentados na Tabela 1.

Houve um predomínio esperado de embarcadores na amostra (78%), uma vez que este perfil de agente é, de fato, o mais numeroso e também aquele mais diretamente impactado pelos gargalos relacionados à falta de alternativas multimodais.

A Tabela 2 traz a representatividade dos resultados da pesquisa de campo por tipo de produto e número de rotas identificadas. A aplicação dos questionários possibilitou a identificação de 1.403 rotas identificadas, indicando as principais regiões de origem e de destino de cargas ao longo dos corredores de transporte, bem como a identificação das principais alternativas multimodais utilizadas para o escoamento dos produtos de interesse.

Tabela 2 – Número de Rotas Identificadas, Organizadas por Tipo de Produto

Produtos	Rotas
Soja	504
Milho	229
Álcool	165
Adbos e fertilizantes	136
Farelo de soja	113
Açúcar	107
Óleo de soja	46
Trigo	25
Outros*	78
Total	1.403

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

Nota: *Produtos que não estavam contidos nos objetivos originais do estudo, como: farelo e farinha de trigo, arroz, ração animal, caroço de algodão, entre outros.

Nas pesquisas de campo, foram aplicados três tipos de questionários: aos embarcadores, aos transportadores e às instituições. Consideram-se como embarcadores os agentes que detêm a carga agrícola (agricultores, indústrias processadoras, *traders*). Os transportadores, por sua vez, são todos

aqueles que prestam algum tipo de serviço logístico, principalmente os relacionados ao transporte das cargas, independentemente do modal. Por último, as instituições são todos os órgãos ou instituições públicas que, de alguma forma, estão relacionados à cadeia logística dos produtos de interesse deste estudo: órgãos fiscalizadores, regulamentadores, armazéns reguladores, entre outros.

Em relação à estrutura dos questionários, os primeiros tópicos tinham como objetivo levantar as informações sobre as principais rotas, com os seus respectivos volumes, de forma a identificar as principais alternativas multimodais utilizadas na ocasião, além dos principais gargalos nas rotas descritas, observados pelos agentes de cada corredor de transporte. Em segundo lugar, fazia-se referência aos investimentos, buscando informações sobre as perspectivas a respeito de investimentos públicos e privados, a curto e médio prazo, empenhados para alavancar a multimodalidade. Por fim, os últimos tópicos dos questionários tiveram como objetivo avaliar os principais fatores que interferem na tomada de decisão dos agentes pelo uso de um modal de transporte em detrimento de outro. Dessa forma, foi possível avaliar os critérios mais determinantes quando da escolha de uma modalidade de transporte para a movimentação de mercadorias.

2.2 – Modelo Matemático de Otimização Logística

De forma geral, as técnicas de modelagem utilizadas para a simulação de fluxos de transporte inter-regionais partem da divisão espacial da área que será analisada em zonas de carga e a escolha dos centroides⁵ que representarão as origens e destinos das cargas. Para cada um dos centroides, são atribuídos valores de oferta e demanda de cargas, que representam a quantidade de carga que deve sair ou chegar a cada zona. Após essa etapa, simula-se a movimentação dos fluxos de cargas entre os centroides com excedente de oferta e os centroides

⁵ Geometricamente, centroide é o ponto que coincide com o centro de massa de um corpo. Para esta pesquisa, é o local geográfico – a sede de um município – eleito para representar uma região geográfica, mais precisamente uma microrregião, seguindo a classificação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

com déficit, que deverão ser alocados com base na configuração da rede multimodal de transporte que conecta as zonas de carga, levando em consideração o comportamento e os critérios de decisões de embarcadores e transportadores.

Um estudo realizado pela *Actions de Préparation, D'accompagnement et du Suivi* (1996) sugere uma estrutura geral para a modelagem de fluxos de passageiros e cargas inter-regionais dividido em cinco etapas, conforme descrito a seguir: Fase 1: estimativa do número de viagens ou quantidade de cargas que chegam ou que partem de cada zona; Fase 2: a partir de cada zona, estima-se para quais zonas as viagens ou as cargas serão alocadas. Esta etapa gera como resultado uma Matriz Origem-Destino de fluxos de transporte; Fase 3: nesse momento, escolhe-se a modalidade de transporte ou os meios de transporte através dos quais os fluxos de passageiros ou cargas deveriam ser alocados entre os centroides, com base no comportamento atribuído aos agentes embarcadores e transportadores; Fase 4: essa etapa consiste da conversão das quantidades de cargas em tráfego de veículos, sendo particularmente importante para estudos de transporte de cargas, já que as fases antecessoras, no caso destes estudos, trabalham com quantidades em toneladas e não consideram o fluxo de veículos; e Fase 5: nessa fase, as viagens (número de veículos, caminhões, trens, navios etc.) são alocadas ou distribuídas através das redes viárias, da maneira mais adequada. Em alguns modelos, são levados em consideração efeitos de congestionamento ao longo da rede viária. Os resultados desta etapa podem ser comparados com o tráfego de veículos observados na realidade, com o intuito de calibrar e validar o modelo matemático.

Ainda segundo *Actions de Préparation, D'accompagnement et du Suivi* (1996), normalmente, os modelos de transporte são aplicados considerando dados de uma situação atual referentes um ano base; entretanto, muitas vezes, são desejáveis previsões de fluxos de transporte para anos futuros. Com este propósito, podem ser especificados cenários futuros com base em previsões a respeito de fatores econômicos, demográficos e espaciais que interfiram nos fluxos de transporte inter-regionais.

O método para estimativa da demanda de carga proposto para atender ao escopo desse projeto compreende as fases 1, 2 e 3 da estrutura apresentada e não trata diretamente do tráfego de veículos ao longo da rede viária nem efeitos de congestionamento de vias. No item seguinte, serão apresentados os dados utilizados, pressupostos e métodos adotados na concepção do modelo matemático sugerido para alocação dos fluxos inter-regionais de cargas agrícolas e para dar suporte à avaliação da quantidade de carga captável pelas alternativas multimodais de transporte disponíveis e projetadas para o corredor Nordeste.

Apesar de este estudo ter como enfoque o corredor Nordeste, sugere-se que a demanda de carga captável pelas alternativas multimodais de transporte seja realizada com base em estimativas de fluxos inter-regionais de todo o Brasil, já que as atividades econômicas na área de influência do corredor não são estanques e apresentam intercâmbio de mercadorias com outras regiões do país, sendo mais consistente, portanto, estimar os fluxos de cargas observados entre todos os centroides de oferta e de demanda de cargas do país, ao invés de isolar os fluxos correlatos à área de influência.

Adotaram-se como critério para a divisão espacial do território nacional as unidades geográficas denominadas microrregiões, que são subdivisões dos estados brasileiros em áreas com similaridades econômicas e sociais propostas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Para a finalidade de cálculo de distâncias e estimativa do custo de transporte entre as unidades geográficas, foram definidos os centroides (municípios) representantes das microrregiões, que são considerados sedes de cada unidade geográfica utilizadas para fins de localização da origem ou destino dos fluxos de cargas. Pelo fato de o escopo deste projeto envolver o transporte de cargas agrícolas, a escolha dos centroides de oferta de carga adotou como critério a representatividade de cada município em termos de Produto Interno Bruto (PIB) do setor agrícola dentro de cada microrregião. No caso da seleção dos centroides de atração de carga, o critério considerado foi PIB do setor industrial, avaliado como um bom indicador do nível de consumo de matérias-



Mapa 2 – Divisões do Território Nacional em Microrregiões e Respective Centroides

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

primas agrícolas. Os centroides escolhidos para as microrregiões podem ser visualizados no Mapa 2.

É facilmente constatado que, à medida que a divisão espacial envolve menores unidades geográficas, maior é a precisão dos resultados do modelo, já que é possível a escolha de um recorte territorial mais detalhado e uma representação mais precisa da infraestrutura viária. Por exemplo, caso fossem considerados todos os municípios brasileiros como centroides de produção e de atração de carga, isto implicaria uma representação mais detalhada e mais real do fluxo de cargas inter-regional. No entanto, a

adoção de um grande número de centroides pode aumentar por demais o número de pares origem-destino (explosão combinatória), demandando capacidades de memória não-disponíveis nos computadores pessoais convencionais durante o processamento do modelo de otimização. Neste sentido, o método de zoneamento envolveu os cuidados necessários para se evitarem limitações dos recursos computacionais disponíveis para a resolução do modelo.

A alocação dos fluxos de produtos entre as regiões geradoras de carga e as regiões de atração de carga,

através da rede viária, ocorreu com o auxílio de um modelo linear de otimização que teve como objetivo a minimização do custo total de transporte de cargas. O somatório dos fluxos indicados pela solução do modelo para movimentação através da rede multimodal de transporte do corredor foi a informação usada para avaliar a demanda de carga captável pelas alternativas multimodais de transporte.

Para a simulação dos fluxos de carga e da escolha das combinações de transporte e rotas entre os centroides de origem e centroides de destino de forma a atingir o menor custo global de transporte, desenvolveu-se um modelo com base no Modelo de Fluxo de Custo Mínimo Multiproduto - Multicommodity Minimum Cost Flow Problem, a partir de Ahuja (1993). A lógica associada ao modelo matemático desenvolvido é ilustrada através da Figura 1.

O modelo se baseia em um método de otimização de fluxos em rede, onde os nós dessa rede podem representar uma região de oferta de carga, uma região de demanda de carga ou uma localidade que abriga um terminal de transbordo; e os arcos representam as

alternativas de transporte disponíveis para a passagem de carga.

O objetivo do modelo é minimizar o custo total de transporte para o deslocamento das cargas ofertadas pelos centroides o e demandadas d pelos centroides d . O somatório dos fluxos $IM_{t_1 t_2}^{pc}$ corresponde ao volume de carga captável pelas alternativas de transporte multimodais.

Fundamentando-se na lógica do modelo de fluxos em rede apresentada, desenvolveu-se um modelo de otimização. A apresentação completa e detalhada do modelo matemático pode ser conhecida em Branco et al. (2010).

Para fins de identificação dos fluxos multimodais, a análise dos resultados do modelo focalizou os valores assumidos pela variável $IM_{t_1 t_2}^{pc}$: fluxo multimodal do produto p (através do modal ferroviário, hidroviário e/ou dutoviário) entre o terminal de transferência de carga de carregamento t_1 e o terminal de transferência de carga de descarregamento t_2 , vinculado ao canal de comercialização c .

Os fluxos indicados pelo modelo permitem também a identificação dos centroides geradores de carga captável pelas alternativas multimodais e a quantidade de carga gerada por cada centroide. Além disso, os fluxos de carga indicados pelo modelo também trazem a identificação dos principais pontos de transbordo para embarque nas alternativas multimodais.

O modelo matemático de otimização foi processado com o uso do solver de programação linear CPLEX, através do software *General Algebraic Modeling System* (GAMS).

A determinação da oferta ou demanda de carga em uma certa unidade geográfica (zona) baseou-se nos níveis de produção e consumo dos produtos agrícolas mais representativos em termos de quantidade transportada ao longo do corredor de transporte estudado. Com base nesse critério e também considerando a aptidão dessas cargas para o transporte multimodal de cargas, foram selecionados os produtos ou classe de produtos relevantes que seriam considerados no estudo de fluxos inter-

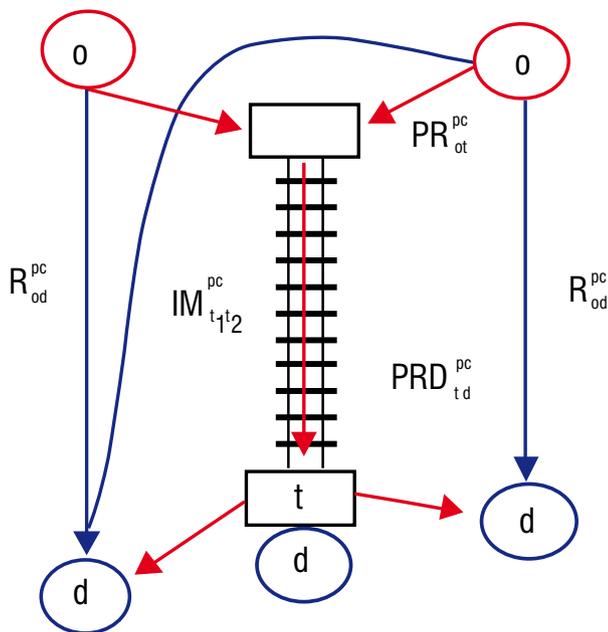


Figura 1 – Esquema Representativo do Modelo de Fluxo de Custo Mínimo Multiproduto

Fonte: Adaptado de Ahuja (1993).

regionais, sendo eles: soja, milho, trigo, açúcar, álcool, óleo de soja e farelo de soja.

A oferta e demanda correspondentes a certo produto e a uma dada zona de carga podem ser determinadas de forma endógena aos modelos de estimativa de fluxo inter-regionais (como acontece nos casos dos modelos de equilíbrio espacial), ou de maneira exógena (como ocorre no uso de modelos de otimização de fluxos em redes). Particularmente, o método proposto para esse estudo enquadra-se na segunda classe de modelos, sendo, portanto, os valores de oferta e demanda tratados como variáveis exógenas. Neste sentido, pressupõe-se que a quantidade produzida de um dado produto em um dado centroide corresponde à oferta da unidade geográfica (zona) associada àquele centroide, enquanto a quantidade de um dado produto consumida por um dado centroide equivale à demanda da unidade geográfica correspondente.

Cabe ressaltar que grande parte das informações de produção e consumo dos produtos relevantes para o estudo de demanda de carga multimodal não estava disponível em um nível de desagregação compatível com o zoneamento pretendido. Consequentemente, para desagregar os dados de maneira a atender a divisão espacial adotada, foi imprescindível o uso de *proxys*. As informações de oferta e demanda de carga, quando não-disponíveis no nível adequado de desagregação, foram fracionadas ou estimadas em nível municipal, sendo estas informações, posteriormente, agregadas para determinação da oferta e demanda de cargas nas microrregiões. A seguir, são apresentadas as fontes de dados utilizadas para a determinação da oferta e demanda de cada produto, assim como os métodos empregados para desagregação dessas informações.

i) Produção de soja: utilizaram-se os dados de produção municipal de soja declarados pelo levantamento de safras agrícolas realizado pelo IBGE, denominado Produção Agrícola Municipal de 2007. Os valores adotados correspondem ao ano-base 2007.

ii) Consumo de soja: a partir da quantidade total de soja processada no Brasil em 2007, informada pela Associação Brasileira da Indústria de Óleos Vegetais

(2009); o consumo de cada município foi estimado através do fracionamento do consumo de soja nacional em consumo municipal, de forma proporcional à capacidade instalada de processamento de soja de cada município, declarada por estudo de Safras & Mercados (2003).

iii) Produção de farelo de soja: a produção nacional de farelo de soja em 2007, informada pela Associação Brasileira da Indústria de Óleos Vegetais (2009), foi fracionada em produções municipais, respeitando a proporção da capacidade instalada de processamento de soja em cada município em relação à capacidade nacional, declaradas em estudo de Safras & Mercados (2003).

iv) Consumo de farelo de soja: o consumo de farelo em nível municipal foi estimado a partir da desagregação do consumo nacional correspondente ao ano de 2007 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ÓLEOS VEGETAIS, 2009), adotando-se como critério para desagregação dos dados a proporção do tamanho do rebanho de bovinos, suínos e aves de corte de cada município em relação ao tamanho total do rebanho desses animais. O tamanho do rebanho foi determinado pelo número de animais (bovinos, suínos e aves de corte) declarado na Pesquisa Pecuária Municipal 2007. (IBGE, 2009b).

v) Produção de óleo de soja: a partir da produção nacional de óleo de soja em 2007 publicada por Associação Brasileira da Indústria de Óleos Vegetais (2009), essa informação foi desagregada em produção municipal de maneira proporcional à capacidade instalada de processamento municipal de soja, declarada em estudo de Safras & Mercados (2003).

vi) Consumo de óleo de soja: o consumo nacional de óleo de soja em 2007 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ÓLEOS VEGETAIS, 2009) foi fracionado em consumo municipal de óleo, respeitando a proporção da população de cada município em relação à população brasileira, declarada pelo Censo Demográfico 2000. (IBGE, 2009a).

vii) Produção de açúcar e álcool: as produções de açúcar e álcool das usinas localizadas nas regiões Norte e Nordeste foram obtidas através do Anuário da Cana 2008 - safra 2006/2007. (PROCANA, 2009). No

caso das usinas da região Centro-Sul, as produções correspondentes ao ano-safra 2006/2007 por usina foram declaradas por União das Indústrias Canavieiras (2009). Essas informações foram agregadas em nível de microrregião.

viii) Consumo de açúcar: o consumo nacional de açúcar em 2007 corresponde à oferta nacional menos o volume total exportado no mesmo ano, informado por Secretaria de Comércio Exterior (2008). Foi segregado em consumo municipal, de acordo com a participação da população de cada município em relação à população brasileira, declarada pelo Censo Demográfico 2000. (IBGE, 2009a).

ix) Consumo de álcool: os dados de consumo municipal de álcool hidratado em 2007 foram fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo (2008). O consumo de álcool anidro foi obtido a partir do consumo municipal de gasolina tipo C - dados fornecidos pela Agência Nacional de Petróleo (2008) multiplicado pelo percentual de álcool na gasolina adotado em 2007 (25%).

x) Produção de milho: foram utilizados os dados de produção municipal de milho disponibilizados pelo levantamento de safras agrícolas realizado por IBGE (2009c), denominado Produção Agrícola Municipal 2007.

xi) Consumo de milho: os dados finais nacionais de consumo de milho, extraídos de Conab (2008), primeiramente, foram repartidos em segmentos de consumo (avicultura, suinocultura, bovinocultura, consumo humano e consumo industrial) com base em informações de consumo por segmento em 2007 declaradas pela Associação Brasileira da Indústria do Milho (2009). A fração do consumo alocada para o segmento avicultura foi desagregada para consumo municipal proporcionalmente ao plantel de aves de corte de cada município, declarado pela Produção Pecuária Municipal 2007, do IBGE. A parte do consumo referente ao segmento de consumo pela suinocultura foi alocada proporcionalmente ao rebanho de suínos e o consumo de milho encontrado para o segmento bovinocultura foi alocado de maneira proporcional ao tamanho do rebanho bovino, por município. O consumo obtido para os segmentos consumo humano

e industrial foi desagregado para consumo municipal, sendo ponderado pela proporção do Produto Interno Bruto (PIB) do setor industrial correspondente a cada município em relação ao PIB brasileiro do setor.

xii) Produção de trigo: a produção municipal de trigo foi obtida através do levantamento de safras realizado pelo IBGE, denominado Produção Agrícola Municipal 2007 (IBGE, 2009c).

xiii) Consumo de trigo: a partir do consumo nacional de trigo, declarado pela Conab (2008), a informação foi desagregada para consumo municipal proporcionalmente à capacidade instalada dos moinhos de trigo no ano de 2005, utilizando como fonte de dados as informações de capacidades reunidas durante o estudo denominado Estimativa da Demanda Ferroviária de Carga no Brasil, realizado pelo Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG), em parceria com a Ernest & Young. (ESALQ-LOG, 2009a).

Faz parte do escopo desse projeto o processamento de resultados em um cenário futuro, para avaliar o impacto das obras de expansão ferroviária, hidroviária e dutoviária nos fluxos de transporte. Com essa finalidade, foram realizadas projeções do nível de oferta e demanda de carga em cada zona para o ano de 2015.

Com base em estimativas para a produção e demanda brasileira, realizadas pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), para soja, farelo de soja, óleo de soja, milho, trigo e açúcar, e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), para o álcool, realizaram-se as estimativas na oferta e demanda nacional para o ano 2015.

O crescimento nacional da produção foi rateado proporcionalmente à taxa de crescimento do estado nos últimos três anos ou proporcionalmente à taxa de crescimento da microrregião quando existia a série histórica com esses dados. No caso contrário (açúcar, farelo de soja e óleo de soja), a alocação do crescimento para cada microrregião foi proporcional à produção ou demanda daquela zona de carga.

A estrutura matemática proposta considera que parte da oferta e demanda de produtos pertinentes a um dado centroide é alocada para atender ao

mercado interno, sendo que os fluxos que atendem a esse mercado são representados pelo canal de comercialização doméstico; e parte refere-se ao intercâmbio de cargas no comércio internacional, que seria atendido através dos canais de comercialização denominados exportação e importação.

Para estimativa dos parâmetros de exportação, utilizaram-se como fonte de dados as informações disponibilizadas pela Secretaria de Comércio Exterior (2009), através do sistema AliceWeb, sobre a quantidade de cada produto exportada por unidade estadual e por porto, referentes ao ano de 2007. No caso das importações, as restrições de importação incorporadas ao modelo garantem que a fração do consumo que deveria ser atendida através de fluxos de importação seja originada a partir dos centroides associados aos portos. Para estimativa dos parâmetros de importação por porto e por unidade estadual, utilizaram-se como fonte de dados as informações disponibilizadas pela Secretaria de Comércio Exterior (2009), através do sistema AliceWeb, referentes ao ano de 2007.

As etapas envolvidas no desenvolvimento do modelo proposto para estimativa de demanda de carga ferroviária envolvem a representação de uma rede de transporte multimodal conectando os centroides escolhidos. A rede de transporte considerada é uma representação simplificada da atual rede viária brasileira, estabelecida com base nas distâncias físicas reais que conectam os centroides das microrregiões e mesorregiões consideradas.

As distâncias rodoviárias entre os centroides e entre centroides e pontos de transbordo foram obtidas a partir de um banco de dados de distâncias rodoviárias fornecidas por Logit Engenharia Consultiva (2006).

A representação da rede ferroviária brasileira corresponde ao conjunto de municípios na vizinhança da malha ferroviária brasileira que podem realizar operações de transbordo e determinação das distâncias ferroviárias entre estas localidades. Os pontos de transbordo foram determinados a partir da escolha das principais localidades que têm acesso à malha ferroviária brasileira. Essa seleção buscou desenvolver uma representação da rede ferroviária nacional que se

enquadre nas características reais da infraestrutura das ferrovias brasileiras.

Em relação aos parâmetros de fretes, para cada uma das rotas, foram estimados os seus valores considerando as combinações multimodais. No caso dos trechos hidroviários, o valor do frete foi estimado com base nos valores de mercado praticados no ano de 2009 na Hidrovia Tietê-Paraná, para a movimentação de grãos e farelos, disponibilizados pelo Sistema de Informação de Fretes (Sifreca), com valor proporcional à distância de cada segmento hidroviário. A estimativa da tarifa ferroviária fundamentou-se nas tabelas tarifárias correspondentes a cada ferrovia (Estrada de Ferro Norte-Sul e Companhia Ferroviária do Nordeste⁶) disponibilizadas pela Agência Nacional de Transporte Terrestres a partir da Resolução ANTT 344/MT. Em relação ao frete rodoviário, o cálculo do frete rodoviário foi balizado pelo custo de transporte rodoviário, disponibilizado pelo Sifreca, que é calculado a partir do método de custeio de transportes considerando a estrutura de custos proposta por Lima (2005).

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Resultados da Pesquisa de Campo

Dentre os objetivos delineados, as entrevistas visaram estimar, dentre outros, o volume das cargas de interesse que era movimentado pelos agentes amostrados. A Tabela 3 traz a quantidade de carga que foi declarada pelos entrevistados, organizadas em granéis agrícolas sólidos e granéis agrícolas líquidos, ainda, em função dos modais por meio dos quais tais cargas eram movimentadas.

A partir das quantidades movimentadas declaradas, construiu-se uma matriz de transporte⁷ em função dos modais, conforme consta na Tabela 4.

Observa-se, nas Tabelas 3 e 4, a maior participação dos granéis sólidos agrícolas e do modal rodoviário

⁶Atualmente, denominada Transnordestina Logística S/A.

⁷Comumente, uma “matriz de transporte” é elaborada a partir das informações de volumes transportados multiplicados pelas distâncias viajadas, ou seja, a partir da unidade de tonelada quilômetro útil (TKU). Todavia, pela pesquisa desenvolvida, foi possível estimarem-se apenas os volumes. Portanto, a matriz apresentada deve ser considerada com essa devida ressalva.

para sua movimentação. A matriz estimada apresenta uma aderência bastante razoável em relação às matrizes de transporte disponíveis para o Brasil. Evidencia-se, ainda, que a multimodalidade é mais incipiente quando se trata dos grânéis líquidos, para os quais o modal rodoviário apresenta total domínio (87%) em sua movimentação. Também se ratifica a quase insignificante participação do modal aquaviário (2% a 3%), que, para faixas mais extensas de viagens, seria reconhecidamente o modal mais econômico e ambientalmente de menor impacto.

Especificamente, para o corredor Nordeste, as quantidades de carga movimentada declarada pelos entrevistados são apresentadas nas Tabelas 5 e 6, para grânéis sólidos e líquidos, respectivamente.

As cargas declaradas de maior expressão no corredor Nordeste foram: a soja, o milho, o açúcar e o farelo de soja. Identificou-se, ainda, uma participação expressiva de outras cargas, especialmente o biodiesel, outros óleos e os derivados de petróleo. O modal rodoviário apresentou-se como o responsável pela movimentação da maior parte das cargas, com alguma participação mais expressiva do modal ferroviário para a movimentação de combustíveis.

Interessante observar que houve declaração de um volume significativo de carga movimentada por via marítima, incluindo transporte internacional (trigo e matérias-primas para fertilizantes) e cabotagem (óleo de soja e derivados de petróleo). Não foi identificada a movimentação hidroviária interior das cargas consideradas no escopo da pesquisa.

Uma vez que um dos principais objetivos deste projeto era identificar os impedimentos à multimodalidade, procurou-se compreender, por meio da pesquisa de campo, a disponibilidade declarada de modais alternativos para a movimentação das cargas. Para tanto, fez-se uso do “índice de disponibilidade declarada de modais de transporte”. Este índice foi elaborado em relação à quantidade de carga movimentada declarada pelos entrevistados, que também foram questionados sobre a disponibilidade de outros modais para movimentá-las. Portanto, esta disponibilidade apresenta um conceito amplo, podendo dizer respeito tanto a uma disponibilidade física (existe a estrutura do modal alternativo que permitiria o embarque, bem como equipamentos e tecnologia para tal) quanto a uma disponibilidade comercial (existe escala, conhecimento, condições negociais, interesse do transportador etc.).

Tabela 3 – Quantidade de Cargas Movimentadas Declaradas pelos Entrevistados em Função do Modal Utilizado

Carga	Quantidade			Unidade
	Rodoviário	Ferrovário	Aquaviário*	
Grânéis agrícolas sólidos	69.819.129	16.153.658	2.326.643	tonelada
Grânéis agrícolas líquidos	6.940.041	870.582	198.288	m ³

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

*Aquaviário considera o transporte hidroviário interior e o marítimo, insusive a cabotagem.

Tabela 4 – Matriz de Transporte Estimada a partir das Quantidades Movimentadas Declaradas pelos Entrevistados

Carga	Matriz de transporte			Total
	Rodoviário	Ferrovário	Aquaviário*	
Grânéis agrícolas sólidos	79%	18%	3%	100%
Grânéis agrícolas líquidos	87%	11%	2%	100%

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

*Aquaviário considera o transporte hidroviário interior e o marítimo, insusive a cabotagem.

Tabela 5 – Quantidade de Carga (Granéis Agrícolas Sólidos) Movimentada Declarada para os Respectivos Modais de Transporte (Corredor Nordeste)

Granéis agrícolas sólidos	Quantidade (t)		
	Rodoviário	Ferrovário	Marítimo
Açúcar	1.449.190	-	-
Farelo de soja	1.130.700	-	-
Fertilizantes	739.800		260.000
Milho	1.838.965	-	-
Matéria-prima para fertilizantes	256.000	135.000	-
Soja	3.721.995	-	-
Trigo	-	-	412.000
Outros*	957.800	25.000	30.000
Total	10.094.450	160.000	702.000

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

Nota: *Arroz, resíduos de soja e farinha de trigo.

Tabela 6 – Quantidade de Carga (Granéis Agrícolas Líquidos) Movimentada Declarada para os Respectivos Modais de Transporte (Corredor Nordeste)

Granéis agrícolas líquidos	Quantidade (m3)		
	Rodoviário	Ferrovário	Marítimo
Álcool	176.020	5.000	-
Óleo de soja	43.623	1.207	198.288
Outros*	1.570.200	31.110	-
Total	1.789.843	37.317	198.288

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

Nota: *Biodiesel, derivados de petróleo e óleos vegetais diversos.

O índice de disponibilidade declarada de modais de transporte para o corredor Nordeste é apresentado na Tabela 7.

Para os granéis sólidos, observa-se que, praticamente, 91% do volume de carga declarada têm disponibilidade para uso exclusivo do modal rodoviário. Na segunda posição, aparece a disponibilidade exclusiva aquaviária (6,8%), influenciada pela movimentação marítima de trigo e fertilizantes. A alternativa rodoviária e ferroviária aparece com baixíssima expressão. Apenas 1,2% da carga teria as três alternativas modais para decidir por qual utilizar. Para os granéis líquidos, 46,2% da carga só teriam o modal rodoviário a utilizar. Os três modais de interesse seriam alternativos para expressivos 52% da carga a ser movimentada, sendo este índice bastante influenciado pela movimentação

de óleo de soja. De uma forma geral, observa-se uma disponibilidade nula entre as alternativas rodoviária e aquaviária, e ferroviária e aquaviária, motivada pela indisponibilidade do modal aquaviário neste corredor (excetuando o transporte por via marítima, especialmente a cabotagem).

Dentre os principais objetivos da pesquisa de campo, estava a obtenção de informações para ajudar na aferição do modelo matemático de otimização logística. Nesse sentido, a pesquisa preocupou-se em melhor compreender o comportamento dos embarcadores enquanto usuários dos serviços logísticos. Os atributos determinantes das operações foram apresentados aos entrevistados para que os ordenassem segundo sua importância. O resultado agregado é apresentado na Tabela 8.

Tabela 7 – Índice de Disponibilidade de Modais de Transporte para o Corredor Nordeste

Carga	Modal disponível						
	Apenas R	Apenas F	Apenas A	R e F	R e A	F e A	R, F e A
Açúcar	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Farelo de soja	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Fertilizantes	66,7%	0,0%	26,0%	7,3%	0,0%	0,0%	0,0%
Milho	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Matéria-prima para fertilizantes	54,7%	0,0%	0,0%	15,3%	0,0%	0,0%	29,9%
Soja	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Trigo	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Álcool	97,2%	0,0%	0,0%	2,8%	0,0%	0,0%	0,0%
Óleo de soja	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	0,0%	0,0%	99,3%
Índice para granéis sólidos	90,7%	0,0%	6,8%	1,3%	0,0%	0,0%	1,2%
Índice para granéis líquidos	46,2%	0,0%	0,0%	1,7%	0,0%	0,0%	52,1%

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

Nota: R = Rodoviário, F = Ferroviário, A = Aquaviário.

Tabela 8 – Ordenação dos Atributos Determinantes das Operações Logísticas Declarados pelos Entrevistados

Atributos determinantes	Posições no ranking de importância		
	Média	Moda	Desvio-padrão
Custo total logístico (frete + transbordo + ponta rodoviária) ⁸	1,6	1	1,0
Agilidade da operação portuária	2,9	2	1,5
Tempo total de percurso (transit time)	3,1	3	1,3
Possibilidade de contrato de longo prazo	4,1	6	1,6
Perdas físicas associadas ao processo logístico (“quebra”)	4,4	5	1,3
Garantias sobre sinistro por danos e acidentes	4,6	5	1,4

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

Como pode ser visto na Tabela 8, calculou-se a média e a moda das posições declaradas por todos os embarcadores entrevistados, para cada um dos atributos considerados. Para ter uma ideia de variabilidade, apresentou-se também o desvio-padrão das posições.

O custo logístico total foi considerado o atributo mais importante, como pode ser observado tanto pela média das posições (1,6) quanto pela moda (1). O desvio-padrão foi o mais reduzido dentre todos os atributos, ratificando que, apesar da diversidade de situações (regiões, cargas, modais etc.), o atributo “custo” é quase uma unanimidade. A agilidade da

operação portuária ficou na segunda posição dentre os atributos. Isso pode ser observado tanto pela média (2,9) quanto pela moda (2). Muito embora o tempo total do percurso (*transit time*) tenha ficado na terceira posição, a média de sua posição (3,1) foi bastante próxima à da agilidade portuária. Os demais atributos considerados – possibilidade de contrato de longo prazo, perdas físicas e garantias sobre sinistros –

⁸ “Frete” refere-se ao custo do transporte em si, geralmente cotado em R\$/t ou R\$/m³. “Transbordo” refere-se ao custo da baldeação. “Ponta rodoviária” é o custo do transporte rodoviário entre terminais de embarque e desembarque, geralmente, caracterizado por curtas distâncias. O “custo total logístico”, portanto, neste caso, é a soma dessas três parcelas de custo.

apresentaram posições bastante semelhantes, o que não permite afirmar com segurança qual apresenta maior importância para os entrevistados, considerados de forma agregada.

Outro importante parâmetro investigado na pesquisa de campo disse respeito ao desconto exigido pelos embarcadores para que eles – todo o resto mantido constante – decidam por embarcar sua carga em um modal alternativo ao rodoviário. Para analisar as respostas, calcularam-se, como na análise dos atributos, a média e a moda dos descontos declarados pelos entrevistados. Neste caso, a média foi ponderada pelo volume de carga embarcada anualmente declarada pelos informantes. Os resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Desconto no Frete Exigido pelos Embarcadores das Respectivas Cargas para que Decidam por Embarcá-las em um dos Modais de Transporte Alternativos ao Rodoviário

Carga	Modal alternativo	Desconto exigido para utilizar modal alternativo	
		Média ponderada	Moda
Açúcar	Ferrovário	19%	10%
	Aquaviário	22%	10%
Farelo	Ferrovário	25%	20%
	Aquaviário	38%	30%
Fertilizante	Ferrovário	30%	30%
	Aquaviário	29%	30%
MP	Ferrovário	23%	20-30%
	Aquaviário	18%	13-20%
Milho	Ferrovário	42%	10%
	Aquaviário	42%	20%
Soja	Ferrovário	31%	10%
	Aquaviário	49%	20%
Trigo	Ferrovário	24%	20%
	Ferrovário	23%	20%
Álcool	Aquaviário	23%	10%
	Dutoviário	21%	10%
Óleo de soja	Ferrovário	26%	20%
	Aquaviário	43%	30%

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

Para as cargas, em geral, com exceção das matérias-primas para fertilizantes e do álcool, o desconto exigido para o frete aquaviário é superior ao exigido para o frete ferroviário ou, no mínimo, em patamar bastante semelhante ao do ferroviário. Para o álcool, essa tendência parece inverter-se, sendo que os descontos exigidos sobre o frete ferroviário são superiores, provavelmente, refletindo um maior risco que percebem no transporte de uma carga perigosa por esse modal.

A compreensão das dificuldades enfrentadas pelos agentes envolvidos na logística agroindustrial nos corredores de análise também foi um objetivo importante da pesquisa de campo.

Aos entrevistados era solicitado que declarassem quais são os problemas logísticos enfrentados em seus negócios, especialmente aqueles gargalos mais diretamente relacionados aos impedimentos à multimodalidade. As respostas foram estudadas e sistematizadas em tópicos (“gargalos”). A frequência das declarações foi calculada para cada um desses gargalos em função do respectivo corredor logístico. Tais resultados agregados constam na Tabela 10.

Os resultados agregados dos entrevistados que operam nos três corredores considerados indicam que, praticamente, três quartos dos respondentes (74%) entendem que a infraestrutura viária brasileira é deficiente. Este foi, por conseguinte, o gargalo mais importante identificado na pesquisa. A oferta insuficiente de serviços de transporte foi o segundo gargalo mais frequente, tendo sido declarado por 41% dos entrevistados. Relacionado a este gargalo, mas com ênfase direta na questão da multimodalidade, ficou o item “falta de modal alternativo”, mencionado por 29% dos entrevistados. Este item pode ser entendido também como parte da oferta insuficiente de serviço de transporte, mas está mais diretamente relacionado à escassez de alternativas e capacidade de movimentação multimodal, especialmente relacionada aos modais ferroviário e aquaviário. Na quarta posição, surge a questão do elevado custo do frete, mencionado por 27% dos entrevistados. Importante ressaltar que este gargalo pode estar, de alguma forma, relacionado aos três itens anteriores. Ainda assim, é sentido e manifestado diretamente por um número

Tabela 10 – Porcentagem dos Entrevistados que Declararam a Presença de Gargalos Logísticos: Amostra de Entrevistados Organizada para Todos os Três Modais Conjuntamente e para Cada um Separadamente

Gargalos	Todos os corredores	Centro-Oeste	Centro-Norte	Nordeste
Infraestrutura viária deficiente	74%	81%	56%	21%
Oferta insuficiente de serviço de transporte	41%	46%	22%	7%
Falta de modal alternativo	29%	18%	68%	21%
Alto custo do frete	27%	30%	23%	0%
Dificuldades negociais	18%	19%	4%	0%
Falta de infraestrutura portuária	17%	21%	3%	7%
Problemas no transbordo	16%	21%	3%	21%
Alto custo dos pedágios	15%	19%	10%	0%
Elevado Transit Time	9%	10%	0%	0%
Elevado risco	7%	7%	3%	0%
Trânsito intenso	7%	9%	3%	0%
Alta carga tributária	5%	5%	10%	0%
Necessidade de operar em grande escala	4%	4%	0%	14%
Restrições de horário de tráfego	3%	4%	0%	0%
Questões ambientais	3%	4%	0%	14%
Problemas na fiscalização	2%	1%	0%	0%
Inadequação de veículos de transporte específico	2%	2%	0%	0%
Perdas físicas do produto ("Quebra")	1%	1%	0%	0%

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

expressivo de agentes. Na sequência, com frequências de declarações entre 15% e 18%, apareceram os seguintes gargalos: dificuldades de negociação, falta de infraestrutura portuária, problemas no transbordo e o elevado custo dos pedágios. Com uma frequência entre 5% e 9% apareceram os gargalos relacionados ao elevado *transit time*, o elevado risco na operação logística, o trânsito intenso e a alta carga tributária. Menos de 5% dos entrevistados ainda declararam deparar-se com os seguintes gargalos: a necessidade de operar em grande escala, as restrições de horário de tráfego, as questões ambientais, os problemas nas fiscalizações, a inadequação de veículos de transporte específico e as perdas físicas ("quebras") durante a operação. Ressalta-se, mais uma vez, que alguns desses compõem, de certa forma, alguns dos gargalos mais abrangentes que ficaram nas primeiras posições.

Os resultados das frequências de gargalos declarados para o corredor Nordeste apresentam

alguma diferenciação em relação ao conjunto dos dados agregados para os três corredores. Com a mesma recorrência apresentaram-se os gargalos da infraestrutura deficiente, da falta de modal alternativo e dos problemas de transbordo, com 21% dos entrevistados apontando nesse sentido. Em um segundo patamar de importância, surgiu a necessidade de se operar em grandes escalas e as questões ambientais, com 14% dos agentes salientando-os.

Aos entrevistados, também era solicitado que, após a declaração dos gargalos, fossem apontados os responsáveis por sua solução ou melhoria. As alternativas eram: o governo, a iniciativa privada ou as Parcerias Público-Privadas (PPP). Os resultados são ilustrados na Tabela 11.

O governo foi predominantemente responsabilizado pela necessidade de solução dos gargalos relacionados à infraestrutura viária deficiente e à falta de modais

Tabela 11 – Porcentagem dos Entrevistados que Declararam quem Seria o Responsável por uma Solução ou Melhoria Relacionada aos Gargalos à Multimodalidade Logística

Gargalos	Governo	Privado	PPP	Não identificado
Infraestrutura viária deficiente	48%	15%	27%	10%
Oferta insuficiente de serviço de transporte	26%	5%	1%	67%
Falta de modal alternativo	50%	8%	17%	25%
Alto custo do frete	18%	24%	7%	50%
Dificuldades negociais	0%	0%	0%	100%
Falta de infraestrutura portuária	7%	20%	0%	73%
Problemas no transbordo	0%	13%	0%	88%
Alto custo dos pedágios	0%	14%	0%	86%
Elevado Transit Time	26%	6%	29%	39%
Elevado risco	0%	0%	0%	100%
Trânsito intenso	0%	0%	0%	100%
Alta carga tributária	0%	0%	0%	100%
Necessidade de operar em grande escala	23%	0%	0%	77%
Restrições de horário de tráfego	14%	0%	0%	86%
Questões ambientais	2%	4%	1%	93%
Problemas na fiscalização	0%	0%	0%	100%
Inadequação de veículos de transporte específico	19%	19%	43%	19%
Perdas físicas do produto ("quebra")	9%	0%	0%	91%

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

alternativos. Os entrevistados entendem que cabe, predominantemente às PPPs, a solução dos problemas relacionados à inadequação de veículos de transporte específicos. Deve-se destacar, porém, que muitos entrevistados não souberam afirmar quem seria o responsável pela solução. Isso aconteceu para um grande número de gargalos, como se observa na última coluna da Tabela 12. Esse suposto desconhecimento dos agentes pode ser um indicio de que ainda há indefinições de regulamentações, entendidas como falta de definições exatas de papéis e regras de funcionamento relacionadas a investimento e operação da logística no país.

Aos entrevistados, questionou-se também sobre os investimentos em logística previstos por suas empresas ou instituições. Consideraram-se seis tipos de investimentos, que são apresentados na Tabela 12, já com suas respectivas frequências.

A aquisição de veículos e equipamentos foi o tipo de investimento mais frequente na amostra, sendo que 35% dos entrevistados apontaram nessa direção.

Ampliar a capacidade de armazenagem mostrou-se um investimento iminente para 25% das empresas e instituições. Investimentos em transbordo e novas unidades apareceram com frequências bastante próximas, entre 12% e 15%. A realização de estudos de viabilidade foi um investimento menos frequente na pesquisa (9% dos entrevistados).

Solicitou-se também, aos entrevistados, que indicassem pontos para implantação de terminais logísticos multimodais, caso entendessem haver necessidade destes. Os principais resultados para o corredor Nordeste indicaram nove localidades para instalação de terminais logísticos multimodais. Essas localidades são apresentadas na Tabela 13.

Destacaram-se, portanto, no corredor Nordeste, as localidades de Luis Eduardo Magalhães (BA) e Rosário do Catete (SE). A primeira é justificada pela importância na produção de grãos no centro-oeste bahiano, especialmente soja e milho. A segunda, pelo potencial de captação de açúcar e álcool, para embarque ferroviário na Transnordestina.

Tabela 12 – Perfil dos Novos Investimentos em Logística Declarados pelos Entrevistados para a Amostra como um Todo e por Corredor

Perfil dos novos investimentos	Total	Centro-Oeste	Centro-Norte	Nordeste
Sem perspectiva de investimentos	36%	50%	47%	32%
Aquisição de veículos e equipamentos	35%	31%	37%	35%
Ampliação da capacidade de armazenagem	25%	31%	37%	22%
Adaptação ou ampliação de pontos de transbordo já utilizados	15%	8%	5%	18%
Aquisição de terminais de transbordo	13%	8%	11%	14%
Novas unidades	12%	4%	5%	14%
Estudos de viabilidade	9%	15%	0%	9%

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

Tabela 13 – Locais Indicados pelos Entrevistados para a Instalação de Terminais Logísticos Multimodais no Corredor Nordeste, com suas Respectivas Frequências de Declarações

Indicação de local ideal para implantação de terminal multimodal	Frequência relativa das indicações (%)
Luis Eduardo Magalhães (BA)	18
Rosário do Catete (SE)	18
Boca da Mata (AL)	9
Juqueiro (AL)	9
Pilar (AL)	9
Recife (PE)	9
Salvador (BA)	9
São Miguel dos Campos (AL)	9
Suape (PE)	9
Total	100

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

3.2 – Resultados do Modelo de Otimização

A estimativa de demanda de carga captável pelas alternativas multimodais foi realizada considerando-se inicialmente o ano-base de 2007. Os resultados foram obtidos para dois cenários envolvendo configurações distintas da rede multimodal de transporte. Desta forma, pretendeu-se analisar o potencial de captação de cargas pelas alternativas multimodais atualmente em operação e os efeitos decorrentes dos projetos de expansão da malha ferroviária e hidroviária.

O primeiro cenário, denominado “cenário atual”, contempla apenas a malha ferroviária e hidroviária atualmente existente, sendo que os níveis de oferta e demanda foram determinados com base na produção, demanda, exportação e importação correspondentes ao ano-base de 2007. O Mapa 3 ilustra a rede

ferroviária e hidroviária considerada na modelagem dos fluxos inter-regionais correspondentes ao “cenário atual”, seus respectivos centroides e portos correspondentes ao corredor Nordeste.

Os resultados também foram processados considerando projeções dos níveis de oferta e demanda de carga para o ano de 2015. O “cenário futuro” leva em consideração a produção futura estimada e os principais projetos de expansão das ferrovias, hidrovias e alcooldutos. A malha ferroviária pertinente ao cenário futuro contempla: i) Ferrovia Norte-Sul ligando Senador Canedo (GO) até Açailândia (MA); ii) Nova Transnordestina operando entre Eliseu Martins (PI) e os portos de Pecém (CE) e Suape (PE); iii) Ferrovia Oeste-Leste conectando a região de Luís Eduardo Magalhães (BA) ao Porto de Ilhéus (BA); iv) Ferroeste operando entre Cascavel (PR) e Maracaju (MS).



Mapa 3 – Malha Ferroviária, Hidroviária e Terminais de Transbordo do Corredor de Transporte Nordeste, Utilizados no “Cenário Atual” (Traçados Representativos)

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

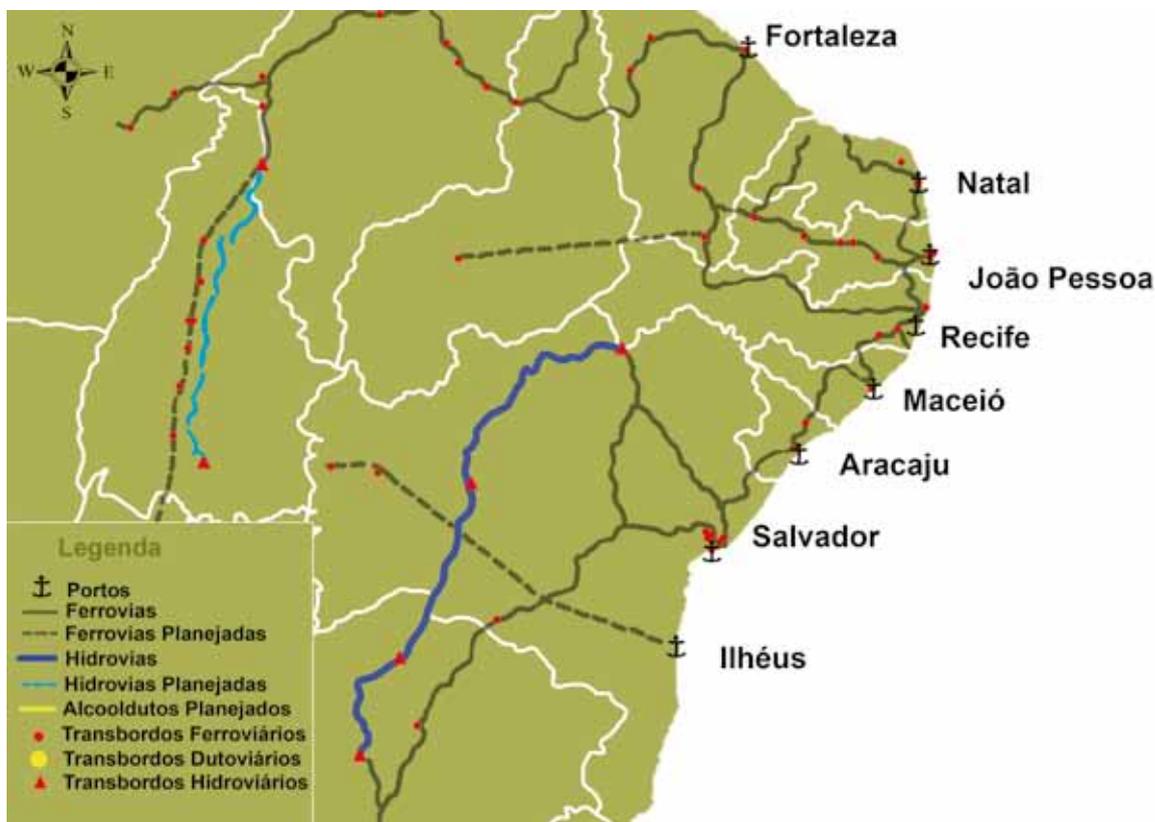
No caso dos projetos aquaviários, foram adicionados os seguintes trechos hidroviários: i) Hidrovia Teles-Pires, ligando Cachoeira Deitada (MT) ao porto de Santarém; e ii) Hidrovia do Tocantins, operando entre Peixes (TO) e Estreito (MA).

Para análise do comportamento dos fluxos de álcool, é importante considerar os projetos dutoviários destinados ao transporte de etanol, que podem vir a ser implantados ao longo dos próximos anos. Uma série de agentes declarou intenções na construção de infraestrutura dutoviária para o transporte de etanol, sendo que a configuração da malha de alcoodutos sugerida para análise nesse “cenário futuro” específico envolve os seguintes projetos: i) Alcooduto proposto pela Unica (União das Indústrias Canavieiras), que ligaria Anhembi (SP) a Paulínia (SP) e Santos (SP); ii) Alcooduto proposto pela Brenco (Empresa Brasileira de Biocombustíveis), que ligaria Alto Taquari (MT) a

Paulínia (SP) e Santos (SP), passando por Costa Rica (MS), Paranaíba (MS) e São José do Rio Preto (SP); e iii) Alcooduto proposto pela Transpetro (Petrobras Transportes S.A.), que ligaria Senador Canedo (GO) a Paulínia (SP) e o Porto de São Sebastião (SP), passando por Uberlândia (MG), Uberaba (MG) e Ribeirão Preto (SP).

Cabe frisar que existem outros projetos de expansão da malha ferroviária, hidroviária e dutoviária. Contudo, a equipe de pesquisadores envolvida neste estudo elegeu e elencou os projetos que se mostram mais prováveis de serem implantados até 2015. A configuração das malhas ferroviárias, dutoviárias e hidroviárias considerada para o “cenário futuro”, relacionada ao corredor Nordeste é ilustrada no Mapa 4.

A análise dos resultados baseou-se na identificação e quantificação dos fluxos de cargas que revelaram



Mapa 4 – Malha Ferroviária, Hidroviária, Dutoviária e Terminais de Transbordo do Corredor de Transporte Nordeste, Utilizados nos “Cenários Futuros” (Traçados Representativos).

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

potencial para movimentação na rede ferroviária e hidroviária sob as condições e pressupostos considerados na construção do modelo. Foram também analisados os principais centroides geradores de carga para as alternativas multimodais em estudo e os principais pontos de transbordos ao longo da rede viária, informações consideradas relevantes para o planejamento estratégico do sistema de transporte.

Na Tabela 14, são apresentados os resultados dos volumes⁹ anuais de atração de carga estimados para os cenários: atual (ano base 2007) e futuro (ano base 2015).

A seguir, são analisados os principais resultados obtidos com o processamento do modelo, separados para o cenário atual e o futuro. Em cada um deles, inicialmente, são apresentados os resultados em nível nacional e, na sequência, enfatizam-se aqueles resultados para o corredor Nordeste.

⁹ Optou-se por representar apenas os volumes superiores a 30 mil toneladas anuais.

3.2.1 – Cenário atual

Os resultados relativos aos produtos do complexo soja no “cenário atual”, que envolve a soja em grãos, óleo de soja e farelo de soja para o país como um todo, apontaram uma captação potencial de carga pelas hidrovias por volta de 4.000 mil t/ano, sendo que 70% desse volume corresponde à movimentação dessa classe de produtos através da Hidrovia do Rio Madeira. Aproximadamente 700 mil t/ano representam a captação potencial apresentada pela Hidrovia Tietê-Paraná e os fluxos desse tipo de carga com aptidão para transporte através da Hidrovia São Francisco somaram aproximadamente 390 mil t/ano. Em relação ao potencial de embarque pela alternativa ferroviária, o modelo apontou uma movimentação de aproximadamente 36.100 mil t/ano de produtos do complexo soja, sendo que as ferrovias que se revelaram mais competitivas para esse tipo de carga foram: Ferronorte (ALL-Malha Norte), ALL (América Latina Logística), Ferroeste (ALL-Malha Oeste) e FCA (Ferrovia Centro-Atlântica).

Tabela 14 – Principais Locais de Captação Multimodal de Carga com os Respectivos Volumes Anuais Estimados para o Cenário Atual e o Cenário Futuro

Local de captação multimodal de carga	Opção de modais*	Tipo de carga	Volume estimado (mil toneladas para grânéis sólidos ou mil m ³ para líquidos)	
			Cenário atual (2007)	Cenário futuro (2015)
Pirapora (MG)	R, F, H	Soja, farelo e óleo de soja	1.266	1.164
		Milho	1.037	1.390
		Álcool	0	386
Montes Claros (MG)	R, F	Soja, farelo e óleo de soja	279	439
		Milho	328	393
Januária (MG)	R, H	Farelo de soja	79	120
Ibotirama (BA)	R, H	Soja e farelo de soja	395	0
		Milho	420	367
Juazeiro (BA)	R, F, H	Farelo de soja	75	0
Salvador (BA)	R, F, M	Trigo	146	0
Aracaju (SE)	R, F, M	Trigo	0	97
Muribeca (SE)	R, F	Açúcar	191	0
		Álcool	323	101
Maceió (AL)	R, F, M	Açúcar	0	172
		Trigo	0	76
Catende (PE)	R, F	Açúcar	0	103
		Trigo	90	505
Recife (PE)	R, F, M	Açúcar	238	133
		Álcool	41	0
Campina Grande (PB)	R, F	Álcool	53	0
		Trigo e milho	85	62
João Pessoa (PB)	R, F, M	Açúcar	449	552
		Álcool	205	0
Natal (RN)	R, F, M	Trigo	90	90
Teresina (PI)	R, F	Álcool	0	647
Eliseu Martins (PI)	R, F	Soja e farelo de soja	0	281
Luís Eduardo Magalhães (BA)	R, F	Soja	0	123
Barreiras (BA)	R, F	Soja e farelo de soja	0	2.711
		Milho	0	247

Fonte: ESALQ-LOG (2009b).

*Opção de modais: R = rodoviário, F = ferroviário, H = hidroviário (interior) e M = marítimo, incluindo cabotagem.

Em relação à movimentação de milho os fluxos inter-regionais apontados pelo modelo apresentaram um potencial de aproximadamente 11.000 mil t/ano através das alternativas de transporte ferroviário e 850 mil t/ano com potencial de movimentação através de hidrovias. Em 2007, as ferrovias brasileiras movimentaram 6.700 mil toneladas (AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE, 2008); contudo, cabe ressaltar que ocorreu

um grande aumento da movimentação ferroviária desse produto em relação a 2006, provavelmente, devido ao aquecimento das exportações brasileiras de milho verificado em 2007. Os terminais de transbordo apontados pelos resultados apresentaram uma distribuição espacial semelhante aos terminais dos produtos do complexo soja, sendo que esse comportamento pode ser justificado, em parte, pelo fato

de as regiões produtoras de milho serem próximas às regiões produtoras de soja.

Os fluxos de açúcar apresentados pelos resultados demonstraram uma concentração do potencial de captação de carga com aptidão ao transporte multimodal no corredor Centro-Oeste de transporte, o que pode ser facilmente justificado em função de a maior parte das usinas de açúcar e álcool estarem localizadas no Estado de São Paulo e regiões vizinhas.

Cabe frisar que os resultados foram gerados pelo critério “tudo ou nada”, ou seja, toda a carga será alocada para aquelas alternativas que minimizem o custo total de transporte. Mas, conforme demonstrado pelos resultados da pesquisa de campo realizada ao longo desse projeto, em função de uma série de justificativas de natureza estratégica, o embarcador nem sempre estaria disposto a transportar toda sua carga através da alternativa mais barata. Com base nas declarações dos embarcadores entrevistados, observou-se que a fração que eles estariam dispostos a embarcar nas alternativas ferroviárias e hidroviárias varia em função do tipo de carga; em média, ela gira em torno de 60% de quantidade de carga transportada. Com o intuito de avaliar a consistência dos resultados gerados pela simulação dos fluxos inter-regionais através do modelo matemático desenvolvido, sugere-se uma comparação entre as quantidades apontadas pelo modelo para transporte através de ferrovias no “cenário atual” e a movimentação ferroviária real, com base nos fluxos ferroviários de cargas observados em 2007, disponibilizados pela Agência Nacional de Transporte

Terrestres. A Tabela 15 reúne a captação ferroviária total apresentada pelos resultados do modelo, captação descontada considerando um índice máximo de embarque de 60% e o volume real movimentado através das ferrovias em 2007.

A análise dos dados revela que a captação ferroviária descontada apresentou valores próximos ao total movimentado pelas ferrovias, em 2007, para os produtos soja, trigo, farelo de soja, óleo de soja e milho, reforçando que os resultados pertinentes ao “cenário atual” estão ajustados aos fluxos reais. Já no caso do açúcar e álcool, os resultados indicam uma maior parcela com potencial de movimentação através das ferrovias que não vem sendo atendida pelo sistema ferroviário atual; em outras palavras, observa-se um maior potencial reprimido de utilização multimodal no caso dessas cargas.

Quanto aos fluxos dos produtos do complexo soja ao longo do corredor Nordeste – cuja área de influência definida para esse estudo compreende a região Norte do Estado de Minas Gerais, as regiões produtoras de grãos do oeste baiano e sul do Piauí até os principais portos nordestinos –, os resultados realçaram as seguintes localidades com potencial de movimentação multimodal: i) os terminais de Pirapora (MG) e Montes Claros (MG), que apresentaram competitividade para o transporte ferroviário de soja em direção ao Porto de Vitória para exportação, além do transporte de farelo de soja e óleo de soja em direção às capitais nordestinas, para suprimento do mercado doméstico dessa região; e ii) o terminal hidroviário de

Tabela 15 – Captação Ferroviária Total Apresentada pelos Resultados do Modelo, Captação Descontada e o Transporte Ferroviário Real em 2007, em Mil t.

Produto	Captação ferroviária total	Captação ferroviária descontada (60% do total)	Volume movimentado pelas ferrovias em 2007
Soja	20.238	12.143	12.886
Trigo	2.246	1.347	1.135
Farelo de soja	9.987	5.992	6.349
Óleo de soja	1.911	1.147	832
Milho	11.051	6.630	6.405
Açúcar	16.285	9.771	4.410
Álcool	13.071	7.843	1.330

Fonte: Resultados do Modelo Matemático e Dados da Agência Nacional de Transportes Terrestres (2009a).

Ibotirama (BA), que revelou potencial para captação da produção de soja e farelo de soja do oeste baiano e transporte através da Hidrovia do São Francisco.

Ao se analisarem os fluxos de milho através do corredor Nordeste, destacam-se os terminais ferroviários de Pirapora (MG) e Montes Claros (MG), além do terminal às margens da Hidrovia do São Francisco, em Ibotirama (BA), alocado pelo modelo, principalmente para abastecimento do mercado doméstico na região Nordeste.

Os terminais marítimos das capitais nordestinas – Salvador (BA), Recife (PE), João Pessoa (PB) e Natal (RN) – são importantes para o abastecimento de trigo, que vem em grande parte importado.

Os fluxos multimodais de açúcar apontados pelo modelo para o corredor Nordeste sugerem como principais locais com potencial de embarque ferroviário, as regiões de João Pessoa PB (449 mil toneladas) e Recife PE (238 mil toneladas), sendo que os fluxos são destinados principalmente para atendimento do mercado doméstico. Os fluxos de etanol, em função da distribuição regional da oferta bastante similar, apresentaram um padrão relativamente semelhante aos fluxos de açúcar, com destaque para Muribeca (SE) e Campina Grande (PB) para a captação ferroviária e para as regiões metropolitanas de Recife (PE) e João Pessoa (PB) para consumo doméstico.

3.2.2 – Cenário futuro

Para a simulação dos fluxos no “cenário futuro”, foram realizadas projeções, para 2015, dos níveis de oferta e demanda em cada zona de carga, conforme documentado anteriormente. O superávit de oferta de cada produto no Brasil foi considerado como volume de exportação e o déficit, como quantidade importada. Como as regiões de fronteiras agrícolas (BA, TO, MA, PI, MT, GO) vêm crescendo em um ritmo mais acelerado, considerou-se que dois terços do aumento das exportações em relação aos valores observados para o “cenário atual” seriam adicionados às quantidades exportadas pelas regiões de fronteira agrícola, de forma proporcional aos valores de exportação estadual adotados para o “cenário atual”. O restante seria acrescentado à exportação estadual das áreas mais antigas de produção. No caso da

quantidade exportada ou importada através de cada terminal portuário, o modelo foi restringido a uma movimentação mínima em cada porto, com base nos níveis observados em 2007, sendo que o acréscimo de exportação ou importação, no “cenário futuro”, foi alocado livremente entre as opções portuárias consideradas nesse projeto.

Cabe reforçar que o “cenário futuro” considerou os projetos de ampliação da malha ferroviária, hidroviária e a implantação dos alcooldutos para o país como um todo.

A partir de uma análise mais detalhada dos fluxos multimodais de soja, farelo de soja e óleo de soja ao longo do corredor Centro-Oeste, sob as premissas do “cenário futuro”, observa-se uma captação importante de carga na região de Maracaju, decorrente da expansão da malha ferroviária da Ferroeste, entre Cascavel (PR) e Maracaju (MS). Também, como consequência, verifica-se uma diminuição dos embarques desses produtos na região de Maringá (PR), já que grande parte dos fluxos com potencial de transporte entre esse terminal e o Porto de Paranaguá tem como origem as regiões produtoras de grãos do Mato Grosso do Sul. Ademais, observam-se aumentos expressivos da captação de carga nas regiões de fronteiras agrícolas, como é o caso de Alto Taquari (MT) e de Ipameri (GO).

Quanto às novas localidades de captação multimodal de cargas decorrentes da expansão da Ferrovia Norte-Sul em direção a Senador Canedo (GO), destacaram-se as regiões de Gurupi (TO), Porto Nacional (TO) e Guaraí (TO) como localidades para implantação de operações de transbordo dos produtos do complexo soja. Os resultados do modelo apontaram um total de 2.500 mil t/ano dessas cargas com potencial de utilização da ferrovia em 2015.

No caso do produto açúcar, não foram observadas grandes alterações dos fluxos de carga, sendo que as principais localidades para captação multimodal desse produto ainda se concentram no corredor Centro-Oeste, mas observaram-se variações dos volumes decorrentes do crescimento projetado da oferta, demanda e exportações do produto.

Quanto aos fluxos multimodais de álcool indicados pelos resultados do modelo matemático para o

“cenário futuro”, merece destaque a captação de álcool através do projeto de alcoolduto da Brenco, previsto para ligar Alto Taquari (MT) a Santos (SP). As principais localidades que captam carga para essa infraestrutura, segundo os resultados, são São José do Rio Preto (SP) e Paranaíba (MS). Além disso, observou-se uma captação de álcool em Anhembi, através do duto proposto pela Uniduto. Em relação aos fluxos ferroviários, destacaram-se as localidades de Maringá (PR), Ourinhos (SP), Bebedouro (SP), Dourados (MS) como possíveis pontos de transbordo para as ferrovias.

Em relação ao corredor Nordeste, destaca-se a captação dos produtos soja, farelo de soja e óleo de soja, decorrentes da implantação da Ferrovia Oeste-Leste, sendo que os resultados apontaram um potencial de captação de 2.800 mil t/ano para essa ferrovia, embarcando em Barreiras (BA). Ainda se mostram relevantes os fluxos entre Pirapora (MG) e o Porto de Vitória através da FCA. Quanto à ampliação da malha da Transnordestina, o modelo apontou um potencial de captação de produtos do complexo soja em Eliseu Martins (PI), mas um volume relativamente menor (281 mil toneladas).

Para o milho, houve destaque para o aumento potencial dos embarques em Pirapora (MG) e Barreiras (BA). O trigo poderia sofrer relevante migração para Recife (PE), cujos embarques de importação para suprimento da região poderiam ultrapassar as 500 mil toneladas anuais.

No caso das estimativas de embarques de açúcar no cenário futuro, surgem com relevância as regiões atrativas de Maceió (AL) e João Pessoa (PB). A região de Catende, em Pernambuco, apareceu com potencial para captação rodo-ferroviária de açúcar (103 mil toneladas). Volume expressivo de álcool passaria a ser atraído pela região de Pirapora (MG), com possibilidade de destinação às regiões consumidoras, principalmente via ferroviária, pela FCA.

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo proposto para estimativa dos fluxos inter-regionais mostrou-se uma ferramenta factível para fins de avaliação do potencial de utilização da multimodalidade.

A análise dos resultados realça como pode ser importante o uso desta ferramenta para uso em atividades relacionadas ao planejamento estratégico de um sistema de transportes. A partir dos resultados obtidos é possível extrair informações importantes para estudos de viabilidade econômica de projetos de implantação de vias de transporte, dimensionamento de vias, análise do impacto da concorrência entre os modais de transporte e avaliação de outras questões que podem auxiliar a condução de políticas de planejamento e regulação dos sistemas de transporte de cargas.

Os resultados apresentados, pelo modelo de transporte considerado neste estudo, propiciaram a identificação das principais localidades que apresentam potencial de captação multimodal de cargas. A análise desses resultados gera importantes subsídios para a seleção dos locais com potencial para instalação de mecanismos e equipamentos de transferência de cargas, além de auxiliar no dimensionamento dessas infraestruturas.

Também é um resultado importante do ferramental desenvolvido a identificação das zonas de cargas que apresentam potencial captável pelas ferrovias, hidrovias e dutovias, ou seja, possibilita a identificação das regiões que revelam potencial para uso da multimodalidade. Outro subsídio para a decisão dos agentes envolvidos no planejamento estratégico da infraestrutura de transporte refere-se à avaliação dos impactos decorrentes dos projetos de expansão das malhas ferroviária, hidroviária ou dutoviária na captação de carga pelas alternativas multimodais. Este tipo de análise é importante para mensuração dos benefícios ou receitas gerados pelos projetos infraestruturais em curso.

Especificamente, os resultados das simulações para o corredor Nordeste sinalizaram a importância da efetiva implantação dos novos projetos ferroviários (Ferrovia Oeste-Leste e expansão da Transnordestina).

Os parâmetros utilizados no modelo referiram-se basicamente aos níveis de produção, consumo, exportação e importação relativos às unidades geográficas definidas no zoneamento, além do custo de transporte para movimentação das cargas através

da rede de transporte considerada. *A priori*, estas são informações que podem ser levantadas com relativa facilidade. Cabe ressaltar que o uso de modelos mais complexos de estimativa de fluxos inter-regionais e de escolha modal (por exemplo, os modelos de Equilíbrio Espacial e os modelos de Escolha Discreta, como o modelo Logit Multinomial) exigem parâmetros adicionais, necessários para a calibração das funções de oferta e de demanda ou para calibração da função utilidade correspondente aos agentes embarcadores. Estas informações não se encontram facilmente disponíveis e podem demandar extensas pesquisas de campo. A dificuldade para calibração destes tipos de modelos é ainda maior no caso de estudos de demanda de carga que recorrem à análise dos fluxos de vários produtos.

No Brasil, ainda não existem pesquisas sistemáticas dos níveis de oferta e demanda num nível de desagregação adequado para este tipo de modelagem, sendo que o desenvolvimento e disponibilização destes tipos de informação seriam de fundamental importância para os estudos de fluxos inter-regionais e para o planejamento e análise dos sistemas de transporte.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem a colaboração dos seguintes pesquisadores, envolvidos no desenvolvimento do projeto citado: Ana Paula Fatoretto, André Luís Arthuso Cuevas, Bruno Fernando de Oliveira, Carolina de Freitas Oliveira, Ciro Villela Oliva, Claudia Maciel de Lemos, Claudirene Romero de Oliveira, Daniel Gerard Eijnsink, Daniel Godoy Penteadó Bragado, Daniela Cristina Passoni, Diogo Galvão Levez, Edson Roberto da Silva Michelin, Erica Gomes da Silva, Fernando Vinícius da Rocha, Flávia Zapparoli Beretta, Gabriela Fernandes Begiato, Heiko Rossmann, Isabela Vescove Primiano, Joseane Thereza Bigaran, Leandro Bernardino de Carvalho, Leandro Henrique Guglielmin Tizato, Leticia Corassa Neves, Luis Claudio Oliveira do Nascimento, Maria Clara Silva Serafim, Mariana Soto Silva, Maristela Minatel, Michael Camacho Roulet, Nermano Franco Ferreira, Priscila Biancarelli Nunes, Rafael Vassolér Torres, Renan Buselli Menezes, Rhuana Reijers, Ricardo de Campos Bull, Rodrigo Amâncio Briozo, Rodrigo Scapin Rosa, Rodrigo

Viviani, Tatiana Beatriz de Oliveira Goudromilhos, Thiago Marques Baptista, Vanessa Duarte Rubia, Walter Henrique Malachias Paes, Vitor Pires Vencovsky, Lavine Silva Matos e Regys Fernando de Jesus Araújo.

ABSTRACT

This paper presents the main results of research project aimed to identify the barriers of multimodality in the logistics of agricultural and agro-industrial cargos in Brazil. The so called Northeast Corridor is especially focused. A field survey was conducted aiming the comprehension of the problem under directly involved agents' point of view, mainly carriers and shippers (the transport service users). It was also developed an optimization mathematical model with the objective of identifying the effects of possible investment projects in transport infrastructure in order to promote multimodality in the corridor. The obtained results allowed an appropriate comprehension of the modality infrastructural deficiency. The optimization model – applied to a current scenario and to a future one (year 2015) – can contribute to the decision process of public and private investors, trying to solve the difficulties and giving more efficiency and competitiveness to multimodal logistics. Thus, the research seeks to contribute with reflections to the socioeconomic development of the Northeast Region of Brazil.

KEY WORDS

Logistics. Crops. Multimodality. Northeast Region.

REFERÊNCIAS

ACTIONS DE PRÉPARATION, D'ACCOMPAGNEMENT ET DU SUIVI. **Transport strategic modelling**. Luxemburgo: Office for Official Publications of the European Communities, 1996. 171 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO (Brasil). **Consumo de combustíveis.xls**. Rio de Janeiro, 2008. Comunicação pessoal.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (Brasil). **Informações gerais da**

ferrovia. Disponível em: <http://201.57.54.6/relatorios/ferroviario/concessionarias2007/11_CFN.pdf>. Acesso em: 8 maio 2009a.

_____. **Relatório anual de acompanhamento das concessões ferroviárias: ano-base 2007**. [S.l.], 2008. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/>>. Acesso em: 12 fev. 2009b.

AHUJA, R.K. **Network flows: theory, algorithms, and applications**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1993. 846 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MILHO. **Milho-Brasil: estimativa de consumo por segmento**. Disponível em: <<http://www.abimilho.com.br/>>. Acesso em: 12 jan. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS. **Balanco oferta/demanda**. Disponível em: <<http://www.abiove.com.br/>>. Acesso em: 7 abr. 2009.

BRANCO, J. E. H. et al. **Desenvolvimento de modelo matemático de otimização logística para o transporte multimodal de safras agrícolas pelo corredor Centro-Oeste**. Informe Gepec, v. 14, n. 1, p. 84-100, 2010.

CONAB. Levantamento da safra agrícola 2007. Disponível em: <www.conab.gov.br/>. Acesso em: 12 nov. 2008.

ESALQ-LOG. **Capacidade instalada da indústria de trigo (2005).xls**. Piracicaba, 2009a. Comunicação pessoal.

_____. **Modelo matemático de otimização logística para o transporte multimodal de safras agrícolas pelo Corredor Nordeste: relatório de pesquisa**. Piracicaba, 2009b.

GISMAPS. **Gismaps Viewer 1.3**. Piracicaba, 2008. Disponível em: <www.gismaps.com.br/>. Acesso em: 5 maio 2008.

IBGE. **Censo demográfico 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 22 abr. 2009a.

IBGE. **Pesquisa pecuária municipal 2007**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 fev. 2009b.

IBGE. **Produção agrícola municipal 2007**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2009c.

LIMA, M. P. **O custeio do transporte rodoviário**. [S.l.], 2005. Disponível em: <www.ilos.com.br/>. Acesso em: 23 abr. 2009.

LOGIT ENGENHARIA CONSULTIVA. **Distâncias.xls**. São Paulo, 2006. Comunicação pessoal.

PROCANA. **Anuário da cana 2008**. [S.l.], 2008. Disponível em: <<http://www.jornalcana.com/>>. Acesso em: 5 jan. 2009.

SAFRAS & MERCADOS. **Capacidades.xls**. São Paulo, 2003. Informação pessoal.

SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR. **Sistema Aliceweb**. Disponível em: <<http://alicesweb.desenvolvimento.gov.br/>>. Acesso em: 1 mar. 2009.

UNIÃO DAS INDÚSTRIAS CANAVIEIRAS. **Producoes.xls**. São Paulo, 2009. Comunicação pessoal.

Recebido para publicação em 30.07.2010.