

Estimativa da demanda de carga captável pela estrada de ferro Norte-Sul

[Estimating freight demand for North South Railway]

José Eduardo Holler Branco, José Vicente Caixeta Filho

Universidade de São Paulo (USP), Brazil

Submitted 23 Dec 2010; received in revised form 21 Jan 2011; accepted 31 Jan 2011

Resumo

Este trabalho teve como objetivo principal a estimativa de demanda de carga captável pela Estrada de Ferro Norte-Sul. Propôs-se o uso de um Modelo de Fluxo de Custo Mínimo Multiproduto para a quantificação da carga captável pela ferrovia. Os resultados indicaram fluxos que somam aproximadamente 1,2 milhão de toneladas de cargas com potencial de transporte pela ferrovia, considerando o trecho que se encontra atualmente em operação, que liga Estreito (MA) até São Luís (MA). A análise dos resultados auxiliou na identificação dos principais centróides geradores de carga para a ferrovia, os pontos de transbordo mais representativos e os principais produtos com potencial de movimentação no trecho ferroviário.

Palavras-Chave: economia dos transportes, ferrovias, programação linear, logística, demanda de carga.

Abstract

The main goal of this paper was to propose a model to estimate the freight demand for Brazil's North-South Railway. The evaluation of the amount of cargo that could be attracted by the railway was done through the use of a Multicommodity Minimum Cost Flow model. During 2005, the results showed a total of 1.2 million tons of inter-regional soybean flows that have potential to be moved through this rail line between Estreito (MA) and São Luís (MA). This model has shown to be a practical tool for evaluating the potential flows through a transportation infrastructure and for identifying the origins and products related to these flows.

Key words: transportation economics, railway, linear programming, logistics, freight demand.

* Email: jvcaixet@esalq.usp.br.

Recommended Citation

Branco, J. E. H. and Caixeta Filho, J. V. (2011) Estimativa da demanda de carga captável pela estrada de ferro Norte-Sul. Journal of Transport Literature, vol. 5, n. 4, pp. 17-50.

■ JTL|RELIT is a fully electronic, peer-reviewed, open access, international journal focused on emerging transport markets and published by BPTS - Brazilian Transport Planning Society. Website www.transport-literature.org. ISSN 2238-1031.

This paper is downloadable at www.transport-literature.org/open-access.

1. Introdução

No Brasil, a escassez de investimentos e planejamento destinados para o setor de transportes nas últimas décadas fez com que o sistema de transportes andasse em descompasso com o crescimento econômico. Como decorrência das dificuldades fiscais e políticas inadequadas, a rede de transportes brasileira passou por um processo de sucateamento, atingindo alarmante situação, já nomeada por alguns especialistas de “apagão” logístico.

A participação predominante do modal rodoviário no transporte de cargas é um dos fatores que contribui para a ineficiência deste setor no país. Segundo Barat (1978), esta característica é decorrente das políticas de transporte com tendência “rodoviarista” que vieram à tona a partir da década de 30. Desde então, os recursos disponíveis para investimento em transporte foram alocados com foco na construção e manutenção das estradas rodoviárias. Este comportamento causou um desequilíbrio na matriz de transporte de cargas nacional, que até hoje revela uma participação preponderante do modal rodoviário.

Com certa euforia, vêm sendo anunciadas novas tendências no transporte de cargas brasileiro. O fluxo de cargas pelas ferrovias mostrou taxas de crescimento relativamente altas nos últimos anos, principalmente entre 2002 e 2006. Garrido (2006) revela que investimentos realizados pelas concessionárias ferroviárias vêm proporcionando uma retomada do transporte ferroviário e sua maior contribuição no transporte de cargas nacional, conduzindo a matriz de transporte brasileira a uma configuração mais racional.

No que tange à malha ferroviária, que há muito tempo não observava nenhuma obra de expansão da rede viária, dois projetos que constavam nas pautas do Plano Plurianual do atual governo tiveram suas obras iniciadas. Em 2006 começaram as intervenções para a construção da Novatransnordestina assim como foram retomadas as obras da Estrada de Ferro Norte-Sul.

A Estrada de Ferro Norte-Sul, cuja operação, manutenção e obras de melhorias estão sob a responsabilidade da Companhia Vale do Rio Doce, que venceu o leilão de sub-concessão realizado no dia 03 de outubro de 2007, quando pronta, ligará as cidades de Senador Canedo (GO) a Belém (PA). Ela tem acesso ao Porto de Itaqui (MA) através da Estrada de Ferro Carajás (EFC). Atualmente, o trecho da Estrada de Ferro Norte-Sul entre Estreito (TO) e

Açailândia (MA), ponto de conexão com a EFC, já se encontra em operação. o trecho entre Estreito (TO) e Araguaína (TO) já está concluído e o trecho seguinte, chegando até Palmas (TO), tem conclusão prevista para 2010.

Esta ferrovia é de particular importância para o desenvolvimento econômico do Brasil, já que ela propiciará a interligação das regiões Norte e Nordeste com as regiões Sul e Sudeste do país. Além disso, conforme documentado por Conab (2006), a Estrada de Ferro Norte-Sul constituirá uma importante alternativa no corredor de transporte Centro-Norte, que dará grande suporte ao escoamento da produção agrícola e agroindustrial de algumas regiões de Mato Grosso, de Tocantins, do Norte de Goiás, do Extremo-Oeste Baiano e do Sul do Maranhão. Estas regiões abrigam as principais áreas de produção da fronteira agrícola, que vêm enfrentando graves entraves logísticos para a expansão de suas economias em função, principalmente, da escassez de infra-estrutura de transporte.

Apesar de as ferrovias serem um importante vetor de desenvolvimento econômico de uma região, a construção de uma ferrovia está associada a elevados níveis de investimento, sendo desejável a sustentabilidade do projeto ferroviário em longo prazo. No caso da Estrada de Ferro Norte-Sul, segundo Valec (2006), os gastos para a conclusão de todo projeto foram orçados em R\$ 2,5 bilhões. Se uma região não apresenta carga suficiente com aptidão para movimentação através do modal ferroviário, o projeto não será sustentável com o passar do tempo. O transporte ferroviário apresenta custos fixos muito elevados e, portanto, demanda grandes volumes de carga para garantir uma receita capaz de garantir sua viabilidade econômica.

Neste sentido, estudos de demanda de carga captável por ferrovias revelam-se ferramentas primordiais para a análise da viabilidade econômica de um projeto ferroviário e para o planejamento estratégico daquela infra-estrutura.

Frente à contribuição que um estudo de demanda pode trazer para o planejamento da Estrada de Ferro Norte-Sul, este trabalho tem como objetivo a avaliação de carga captável por esta ferrovia em sua área de influência, de forma a gerar subsídios para o seu planejamento estratégico.

Para tal finalidade, este trabalho almeja desenvolver um modelo linear de otimização, referenciado na literatura como Modelo de Fluxo de Custo Mínimo Multiproduto (*Multicommodity Minimum Cost Flow Problem*), como ferramenta para auxiliar a avaliação da demanda de carga ferroviária captável pela Estrada de Ferro Norte-Sul.

Como objetivo secundário, este trabalho visa apresentar um método para a estimativa de demanda ferroviária que seja replicável para outros objetos de estudo, de forma a oferecer uma ferramenta de suporte para o planejamento estratégico de projetos que envolvam novas infra-estruturas de transporte.

O presente trabalho está assim dividido: na Seção 2, será apresentada uma revisão de literatura a respeito dos modelos de estimativa de demanda de cargas e simulação de fluxos inter-regionais. Na Seção 3, o modelo matemático desenvolvido será especificado e o método utilizado para a aplicação do modelo para fins de estimativa de demanda de carga será detalhado. Os resultados e discussões sobre os resultados gerados pelo modelo serão apresentados na Seção 3, e por fim, a Sessão Conclusões reunirá as principais considerações sobre o método e realçará as recomendações decorrentes da análise dos resultados.

2. Revisão de Literatura

2.1 Modelos utilizados para estimativa de demanda de carga

Até meados da década de 70 era notável a carência de modelos de previsão de fluxos de cargas inter-regiões. Até então, os modelos focalizavam as técnicas de simulação e estimativa de demanda de transporte de passageiros. O primeiro modelo de previsão de fluxos de transportes inter-regionais voltado ao transporte de cargas é referenciado na literatura como *Harvard Model*. Em decorrência da importância da análise e estimativa dos fluxos entre localidades para o planejamento estratégico dos sistemas de transporte, novos estudos deram suporte ao desenvolvimento de modelos para tais finalidades. Uma série de modelos de transporte multimodal e multiproduto foi apresentada ao longo da década de 80 e 90 revelando representações mais aprimoradas do sistema de transporte. Alguns deles permitiam o uso de funções de custo de transporte não lineares e sensíveis às economias de escala, consideravam os efeitos de congestionamento nos trechos ferroviários da rede multimodal,

simulavam atrasos decorrentes das operações em pátios ferroviários e estações ou até consideravam a movimentação de vagões vazios e vagões especializados para cada tipo de produto na malha ferroviária.

Os modelos usados mais freqüentemente para simulações e estimativas da demanda de carga podem ser divididos em três grandes classes: Modelos de Equilíbrio Espacial (*Spacial Price Equilibrium Models*), Modelos de Escolha Discreta (*Discret Choice Models*) e os Modelos de Equilíbrio de Redes (*Network Equilibrium Models*).

Segundo Friezs e Harkers (1983), os conceitos envolvidos nos Modelos de Equilíbrio Espacial foram desenvolvidos originalmente por Samuelson (1952) e posteriormente ampliados por Takayama e Judge (1964). Os autores relatam que estes modelos estão focados na interação entre produtores, consumidores e embarcadores. Os custos de transporte são estabelecidos exogenamente ao invés de serem determinados através da modelagem do comportamento dos transportadores. Os comportamentos dos consumidores e produtores são incorporados nestes modelos mediante a definição de funções de oferta e demanda. Sob a ótica dos modelos de equilíbrio espacial, as escolhas dos embarcadores determinam a movimentação de cargas entre os produtores e consumidores respeitando os seguintes princípios de equilíbrio:

- se existe um fluxo de uma *commodity* da região A para a região B, então o preço desta *commodity* em A mais o custo de transporte entre A e B será igual ao preço desta *commodity* em B.
- se o preço da *commodity* em A mais o custo de transporte entre A e B for maior que o preço desta *commodity* em B, então não haverá fluxo entre A e B.
- as quantidades ofertadas e consumidas nas subdivisões espaciais são tratadas como variáveis endógenas, determinadas por funções de oferta e demanda, que são dependentes dos valores dos preços das commodities em cada mercado.

Friezs e Harkers (1983) propõem um modelo multimodal baseado nos princípios dos problemas de Equilíbrio Espacial que simula o comportamento de duas classes de tomadores de decisão nos sistemas de transportes - os embarcadores e os transportadores - de maneira simultânea. Ressalta-se que a formulação matemática do modelo apresentado envolvia uma função objetivo não-convexa, o que dificulta a garantia de obtenção de uma solução única. A

resolução do problema ocorria com o auxílio de algoritmos como *Path Enumeration*, e não havia garantias de convergência da solução para o ótimo global. Ojima (2004) faz uma análise da distribuição logística da soja no Brasil a partir de um modelo de Equilíbrio Espacial e Martins (2004) desenvolve um trabalho com abordagem semelhante para análise da configuração geográfica do complexo soja brasileiro.

Quanto aos modelos de escolha discreta, Monteiro et al. (2001) assinalam que esta técnica de modelagem baseia-se nos fundamentos da teoria econômica do consumidor e em modelos “comportamentais”. Segundo os autores, os modelos de escolha discreta consideram que o embarcador busca maximizar sua função utilidade, que por sua vez é função dos atributos de transporte das alternativas de movimentação de cargas. O conjunto de atributos de cada alternativa de transporte caracteriza o nível de satisfação do embarcador, sendo que a função utilidade é fundamentada em modelos econométricos de escolha discreta do tipo Logit. Ainda segundo Monteiro et al. (2001), normalmente, a função utilidade é determinada com base em informações quanto à importância relativa de cada atributo (*trade-off*). Estes parâmetros balizam a simulação das escolhas dos embarcadores quanto à melhor alternativa de transporte entre duas localidades. Estas informações podem ser levantadas através de pesquisas de preferência declarada (*stated preference*), que se caracterizam pela aplicação de questionários e entrevistas a embarcadores para quantificação da importância relativa dos atributos do serviço de transporte. De maneira alternativa, o *trade-off* entre os atributos pode ser definido a partir da observação de fluxos de cargas praticados e dos níveis de serviço relacionados aos fluxos. Esta técnica é conhecida como preferência revelada (*revealed preference*). Aplicações de modelos de escolha discreta para estimativa da demanda de transporte são apresentadas por Oum (1979) e Garrido e Mahmassani (2000).

Friezs e Harkers (1983) abordam os conceitos teóricos que fundamentam os modelos de equilíbrio de redes de transporte de cargas. Segundo os autores, o enfoque desta classe de modelos está voltado para as interações entre agentes embarcadores e transportadores. Ao contrário dos modelos de equilíbrio espacial, que consideram funções de oferta e demanda determinando as quantidades ofertadas e demandadas em um dado centróide, os modelos de equilíbrio de redes tratam as quantidades de oferta e demanda como variáveis exógenas, determinadas externamente ao modelo. Os autores realçam que, muitas vezes, estes tipos de modelo caracterizam-se por uma abordagem seqüencial, constituída por dois estágios: a

primeira etapa volta-se para a estimativa da demanda por transportes apresentada pelos embarcadores; posteriormente, simula-se o comportamento dos transportadores quanto à forma e ao nível de serviço de transporte que será oferecido para atender àquele fluxo. Estes modelos baseiam-se na alocação dos fluxos de cargas entre centróides geradores de carga e centróides de atração de carga, considerando valores fixos de oferta e demanda sobre uma rede viária, multimodal ou não, de forma que estes fluxos encontrem a menor impedância possível (exemplos de impedância incluem os custos de transporte, tempos de viagem - *transit time* – confiabilidade, dentre outras características do serviço de transporte).

Seguindo a abordagem dos modelos de equilíbrio de rede Friez et al. (1981) apresentam um modelo denominado *Freight Network Equilibrium Model* – FNEM, que considera explicitamente as decisões de embarcadores e transportadores, simuladas de maneira seqüencial. O FNEM também abordava os efeitos de congestionamento de vias ferroviárias através de funções de atraso inseridas na estrutura matemática do modelo. A função de custo de transporte era não-linear, o que propiciava sensibilidade dos custos de transporte em relação às economias de escala e em relação aos efeitos de congestionamento de vias.

Crainic et al. (1990) apresentam um modelo multimodal multiproduto com função de custo de transporte não-linear, efeitos de congestionamento - tanto nos arcos da rede como nos pátios e terminais ferroviários – sendo que o modelo também permitia a simulação da movimentação de vagões vazios na rede ferroviária. Este modelo foi denominado *Strategic Analysis* - STAN e foi aplicado em vários países como ferramenta de planejamento estratégico da rede de transportes.

Em conjunto com o GEIPOT, o modelo STAN foi adequado e calibrado para simulações do fluxo de cargas através do sistema de transporte de cargas brasileiro. Mais informações a respeito do uso do modelo STAN para estimativa dos fluxos inter-regionais de cargas no país foram documentadas por Crainic e Florian (1989).

Fernandez et al. (2004) desenvolveram um modelo estratégico para estimativa de demanda de carga ferroviária que propiciava uma representação bem detalhada das operações de manobras e transbordos na rede ferroviária, da movimentação de diferentes tipos de vagões para atender o fluxo de diferentes produtos, das restrições de capacidade de trechos ferroviários e da movimentação de vagões vazios.

Ahuja (1993) sugere um modelo linear de otimização de fluxos em redes, que também pode ser aplicado para a simulação de redes de transporte. O problema, denominado Problema de Fluxos Multiprodutos (*Multicommodity Flow Problem*), considera a minimização do custo total de transporte e é indicado para a resolução de problemas de fluxos em rede, cujos arcos são compartilhados por mais de um produto. A priori, este modelo não exige a calibração de parâmetros das funções de oferta e demanda, já que são tratadas como variáveis exógenas. A formulação linear do modelo garante que a solução envolva um ponto de ótimo global. Além disso, os dados de oferta e demanda de carga em cada nó da rede de transportes e a impedância associada a cada arco da rede são os únicos requisitos para a aplicação do modelo na simulação de fluxos em rede.

O modelo proposto neste trabalho foi formulado com base no conceito do *Multicommodity Flow Problem*, sendo aplicado a uma rede de transportes multimodal.

3. Material e método

3.1 Divisão espacial da área de análise e escolha dos centróides

A divisão espacial adotada para atender ao escopo deste trabalho baseou-se na subdivisão dos estados brasileiros em áreas com similaridades econômicas e sociais, proposta pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, denominadas Mesorregiões e Microrregiões. No caso dos estados pertencentes à área de influência da EFNS – definida neste trabalho como a área delimitada pelos estados cortados pela Estrada de Ferro Norte-Sul e os estados vizinhos a estes, envolvendo Goiás (GO), Tocantins (TO), Bahia (BA), Maranhão (MA), Piauí (PI), Pará (PA) e Mato Grosso (MT) - adotou-se como divisão espacial as microrregiões geográficas. Quanto aos demais estados brasileiros, estes foram divididos em mesorregiões.

A determinação dos centróides das subunidades territoriais foi feita com base na similaridade entre os nomes dos municípios e os nomes das microrregiões ou mesorregiões. No caso em que não se observou esta coincidência, adotou-se como centróide o município com maior população dentro da microrregião ou mesorregião (os dados populacionais foram obtidos através do Censo Demográfico 2000, do IBGE).

3.2 Modelo matemático proposto

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.

Para a escolha das alternativas de transporte e rotas entre os centróides que resulte no 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). Cabe ressaltar que o modelo proposto para este trabalho não considera uma abordagem multiproduto, sendo os resultados processados e analisados de maneira individual para cada produto.

Para atendimento do contexto deste trabalho, foram feitas algumas adaptações do Modelo de Fluxo de Custo Mínimo Multiproduto, sendo proposta a estrutura matemática apresentada a seguir:

Minimizar o custo logístico total expresso por:

$$\sum_{o=1}^n \sum_{d=1}^m X_{od} \times FX_{od} + \sum_{o=1}^n \sum_{t_1=1}^r Y_{ot_1} \times FY_{ot_1} + \sum_{o=1}^n \sum_{t_1=1}^r \sum_{t_2=1}^q Z_{ot_1t_2} \times FZ_{t_1t_2} + \sum_{o=1}^n \sum_{t_2=1}^q \sum_{d=1}^m W_{ot_2d} \times FW_{t_2d} \quad (1)$$

sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{d=1}^m X_{od} + \sum_{t_1=1}^r Y_{ot_1} \geq OFERTA_o, \text{ para todo } o \quad (2)$$

ou seja, a somatória dos fluxos do produto p originados a partir do centro gerador de carga o através de rota rodoviária com destino aos centros de atração de carga mais a somatória dos fluxos de produto p originados a partir do centro gerador de carga o e deslocados até os pontos de transbordo iniciais t_1 com destino para os centros de atração de carga, deve ser igual

à oferta do produto p pelo centro gerador de carga o . Esta restrição garante que a oferta de um centróide seja respeitada.

$$\sum_{o=1}^n X_{od} + \sum_{o=1}^n \sum_{t_2=1}^q W_{ot_2d} = DEMANDA_d, \text{ para todo } d \quad (3)$$

ou seja, a somatória dos fluxos do produto p originados a partir dos centros geradores de carga através de rotas rodoviárias com destino ao centro de atração de carga d mais a somatória dos fluxos do produto p originados a partir dos centros geradores de carga através das rotas que envolvam um modal alternativo ao rodoviário (ferroviário e/ou hidroviário) para o centro de atração de carga d deve ser igual à demanda do produto p pelo centro de atração de carga d . Esta restrição garante que a demanda do centro de atração de carga d pelo produto p seja atendida.

$$Y_{ot_1} = \sum_{t_2=1}^q Z_{ot_1t_2}, \text{ para todo } o \text{ e } t_1 \quad (4)$$

ou seja, o fluxo do produto p originado a partir do centro gerador de carga o e deslocado até o ponto de transbordo inicial t_1 deve ser igual à somatória dos fluxos entre o ponto de transbordo inicial t_1 até os pontos de transbordo finais t_2 , com origens em o . Esta restrição visa garantir a continuidade e o balanço dos fluxos de produto com origem em o que passam pelo ponto de transbordo t_1 .

$$\sum_{o=1}^n \sum_{t_1=1}^r Z_{ot_1t_2} = \sum_{o=1}^n \sum_{d=1}^m W_{ot_2d}, \text{ para todo } o \text{ e } t_2 \quad (5)$$

ou seja, a somatória dos fluxos do produto p originados a partir do centro gerador de carga o que passam pelos pontos de transbordo iniciais e que se dirigem a um determinado ponto de

transbordo final t_2 deve ser igual à somatória dos fluxos do produto p originados no centro gerador de carga o que passam pelo ponto de transbordo final t_2 com destino aos centros de atração de carga. Esta restrição visa garantir a continuidade e o balanço dos fluxos de produto p com origem em o que passam pelo ponto de transbordo t_2 .

$$\sum_{d=porto}^{porto} X_{od} + \sum_{t_2=1}^q \sum_{d=porto}^{porto} W_{ot_2d} \geq EXPORTAÇÃO_o, \text{ para todo } o \quad (6)$$

ou seja, a somatória dos fluxos do produto p originados a partir do centro gerador de carga o que se dirigem diretamente aos centros de atração de carga (considerando apenas os portos) mais a somatória dos fluxos de produto p originados a partir do centro gerador de carga o e que passam pelos pontos de transbordo finais t_2 com destino para os centros de atração de carga (também considerando apenas os portos) deve ser maior ou igual à exportação do produto p a partir do centro gerador de carga o . Esta restrição garante que a fração da oferta do produto p no centro gerador de carga o destinada para exportação seja alocada para centróides que sejam portos.

$$\sum_{o=porto}^{porto} X_{od} + \sum_{o=porto}^{porto} \sum_{t_2=1}^q W_{ot_2d} \geq IMPORTAÇÃO_d, \text{ para todo } d \quad (7)$$

ou seja, a somatória dos fluxos do produto p originados a partir do centro gerador de carga o (considerando apenas os portos) que se dirigem diretamente a um determinado centro de atração de carga d mais a somatória dos fluxos do produto p originados a partir do centro gerador de carga o (considerando apenas os portos) e que passam pelos pontos de transbordo finais t_2 com destino para o mesmo centro de atração de carga d deve ser maior ou igual à importação do produto p por este centro de atração de carga d . Esta restrição garante que a fração da demanda por um produto p pelo centro de atração de carga d que foi atendida através de importação tenha como origem centróides que sejam portos.

Os significados mais específicos dos parâmetros e variáveis consideradas nesse modelo matemático são apresentados a seguir:

X_{od} : fluxo em toneladas do produto p originado a partir do centro gerador de carga o com destino ao centro de atração de carga d ;

FX_{od} : valor do frete (R\$/tonelada) para o transporte do produto p originado a partir do centro gerador de carga o até centro de atração de carga d ;

Y_{ot_1} : fluxo em toneladas do produto p originado a partir do centro gerador de carga o deslocado até o ponto de transbordo inicial t_1 ;

FY_{ot_1} : valor do frete (R\$/tonelada) para o transporte do produto p originado a partir do centro gerador de carga o até o ponto de transbordo inicial t_1 ;

$Z_{ot_1t_2}$: fluxo em toneladas do produto p originado a partir do centro gerador de carga o que passa entre o ponto de transbordo inicial t_1 e o ponto de transbordo final t_2 ;

$FZ_{t_1t_2}$: valor do frete (R\$/tonelada) para o transporte do produto p entre o ponto de transbordo inicial t_1 e o ponto de transbordo final t_2 ;

W_{ot_2d} : fluxo em toneladas do produto p originado a partir do centro gerador de cargas o e passando pelo ponto de transbordo final t_2 com destino ao centro de atração de carga d ;

FW_{t_2d} : valor de frete (R\$/tonelada) para o transporte do produto p entre o transbordo final t_2 e o centro de atração de carga d ;

$OFERTA_o$: nível de oferta em toneladas do produto p observado no centro gerador de carga o ;

$DEMANDA_d$: nível de demanda em toneladas do produto p observado no centro de atração de carga d ;

$EXPORTAÇÃO_o$: nível de exportação em toneladas do produto p observado no centro gerador de carga o ;

$IMPORTACAO_d$: nível de importação em toneladas do produto p observado no centro de atração de carga d .

sendo:

n : índice referente ao número total de centros geradores de carga;

m : índice referente ao número total de centros de atração de carga;

r : índice referente ao número total de pontos de transbordo iniciais para modais alternativos ao rodoviário (ferroviário e/ou hidroviário);

q : índice referente ao número total de pontos de transbordo finais para modais alternativos ao rodoviário (ferroviário e/ou hidroviário).

Portanto, para fins de identificação dos fluxos ferroviários – objeto principal deste estudo – a análise dos resultados do modelo focalizou os valores assumidos pela variável (fluxo do produto p originado a partir do centro gerador de carga o e se movimentando entre os pontos de transbordo ferroviários inicial t_1 e o ponto de transbordo ferroviário final t_2 , correspondentes a Estrada de Ferro Norte-Sul. Esta variável também representa o fluxo através de alternativas concorrentes desta ferrovia, quando os pontos de transbordo t_1 e t_2 são pertencentes a outra via de transporte.

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

3.2 Determinação da quantidade de carga gerada e atraída pelas unidades geográficas definidas pelo zoneamento

Baseando-se nas principais atividades econômicas desenvolvidas na área de influência da Estrada de Ferro Norte-Sul e nas cargas cativas das ferrovias brasileiras foram escolhidos os produtos ou classe de produtos relevantes que seriam considerados no estudo de demanda, sendo eles: soja, milho, arroz, açúcar, álcool, óleo de soja, farelo de soja, fertilizantes (fertilizantes prontos e matéria-prima para fertilizantes) e derivados de petróleo (gasolina, óleo diesel e óleo combustível).

Cabe ressaltar que grande parte das informações de produção e consumo dos produtos relevantes para o estudo de demanda de carga ferroviária não estava disponível em um nível de desagregação compatível com o zoneamento pretendido. Conseqüentemente, 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 ao nível adequado de desagregação, foram fracionadas em dados correspondentes ao nível municipal,

sendo estas informações posteriormente agregadas para determinação da oferta e demanda de cargas nas microrregiões ou mesorregiões.

Para mais detalhes sobre o método e fonte de dados utilizados para determinação do nível de oferta e demanda de carga em cada zona, vide Branco (2007).

3.3 Dados de exportação e importação dos produtos

A informação sobre a quantidade de carga que foi exportada ou importada pelas unidades geográficas não se encontrava disponível em nível de mesorregião ou microrregião.

Para estimativa destes dados, partiu-se das informações de exportação e importação estadual declaradas pela Secretaria de Comércio Exterior - SECEX, referentes ao ano de 2005 e, posteriormente, estas informações foram desagregadas para o nível municipal, sendo fragmentada de maneira proporcional à produção municipal (no caso das exportações) ou fragmentada de maneira proporcional ao consumo municipal (no caso das importações).

3.4 Representação da malha viária de transporte

As distâncias rodoviárias foram obtidas a partir de um banco de dados de distâncias rodoviárias fornecidas por LOGIT (2006).

A representação da rede ferroviária brasileira se deu através da seleção dos municípios na vizinhança da malha ferroviária brasileira, correspondentes aos pontos 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. As distâncias ferroviárias entre os pontos de transbordo foram fornecidas por LOGIT (2006)¹ e correspondem às distâncias físicas reais da malha ferroviária.

¹ LOGIT ENGENHARIA CONSULTIVA LTDA. **Distâncias.xls**. São Paulo, 2006. (informação pessoal).

3.5 Estimativa do custo de transporte

Para as estimativas dos valores de frete rodoviário, foram utilizados valores de frete praticados nas rotas com origem na área de influência da EFNS, referentes ao ano de 2005, fornecidos pelo SIFRECA (2007)². Pelo fato de não existirem informações de frete para todas as rotas possíveis a serem consideradas pelo modelo, o valor de transporte rodoviário foi estimado com o auxílio de um modelo de regressão linear, a partir do Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). A forma funcional (8) do modelo econométrico utilizado é apresentada a seguir:

$$\ln Y_i = \alpha_i + \beta_i \ln X_i + \varepsilon \quad (8)$$

onde:

$\ln Y_i$ corresponde ao logaritmo neperiano dos valores de frete rodoviário, realizados no ano de 2005, em Reais por tonelada (R\$/t), para o produto i ;

i corresponde ao produto, sendo $i = 1, 2, \dots, n$;

α_i é o coeficiente linear ou constante do modelo, para o produto i ;

β_i é o coeficiente angular que pondera o logaritmo neperiano das distâncias, relacionadas ao logaritmo neperiano dos fretes rodoviários (R\$/t), para o produto i ;

$\ln X_i$ corresponde ao logaritmo neperiano das distâncias rodoviárias, expressas em quilômetros, para o produto i ;

ε é o vetor de erro aleatório.

A partir de regressões lineares entre os logaritmos neperianos dos valores do frete (R\$/t) e os logaritmos neperianos dos valores de distância (km), para cada tipo de produto, foram determinadas as funções exponenciais para estimar o custo de transporte rodoviário (R\$/t) entre os centróides geradores de carga e os centróides de atração de carga, conforme ilustrado na equação 9.

² SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE FRETES. **Fretes.xls**. São Paulo, 2007. (informação pessoal).

$$\bar{Y}_i = e^{\alpha_i} \times X_i^{\beta_i} \quad (9)$$

onde:

\bar{Y}_i corresponde a estimativa dos valores de frete rodoviário, em Reais por tonelada (R\$/t), para o produto i ;

i corresponde ao produto, sendo $i = 1, 2, \dots, n$;

e Número de Euler;

α_i é o coeficiente linear obtido a partir da regressão entre o logaritmo neperiano das distâncias relacionadas ao logaritmo neperiano dos fretes rodoviários (R\$/t), para o produto i ;

β_i é o coeficiente angular obtido a partir da regressão entre o logaritmo neperiano das distâncias, relacionadas ao logaritmo neperiano dos fretes rodoviários (R\$/t), para o produto i ;

X_i corresponde às distâncias rodoviárias, expressas em quilômetros, para o produto i ;

Estas equações também foram utilizadas para calcular o custo de transporte entre os centróides e os pontos de transbordo. Quanto às distâncias rodoviárias consideradas para a estimativa do custo de transporte, foram utilizados dados de distâncias físicas reais que representavam o percurso mais curto ligando duas localidades.

Os custos de transporte nos trechos ferroviários foram estimados a partir dos custos de transporte rodoviário, obtidos, aplicando-se um desconto de 30% ao valor estimado através das equações correspondentes ao frete rodoviário. Cabe frisar que a aplicação de descontos em relação às alternativas de transporte concorrentes são estratégias ainda bastantes comuns adotadas pelas concessionárias ferroviárias brasileiras no processo de formação de preços. Normalmente, os descontos praticados pelas concessionárias se situam na faixa entre 10% e 30%, segundo informações do SIFRECA (2007).

4. Resultados e Discussões

A estimativa de demanda de carga captável pela Estrada de Ferro Norte-Sul foi realizada considerando o ano base de 2005. Os resultados foram obtidos para três cenários envolvendo configurações distintas da rede ferroviária pertencente à Estrada de Ferro Norte-Sul. Desta forma pretendeu-se analisar o nível de captação de cargas estimado para o trecho atualmente em operação e os efeitos decorrentes dos projetos de expansão da ferrovia, considerando a ligação entre Senador Canedo (GO) e Açailândia (MA), além da implantação dos ramais Setentrional e Meio-Norte.

O primeiro cenário, denominado “Cenário Atual”, contempla apenas o trecho ferroviário atualmente em operação da EFNS, ligando Estreito (MA) ao Porto de Itaqui, localizado em São Luís (MA), através da conexão com a Estrada de Ferro Carajás. O “Cenário Senador Canedo” contempla a ligação ferroviária ligando Senador Canedo (GO) até o Porto de Itaqui. O terceiro cenário, denominado “Cenário Senador Canedo com Ramais Planejados”, além da Estrada de Ferro Norte-Sul chegando a Senador Canedo, também inclui o Ramal Setentrional, ligando Lucas do Rio Verde (MT) a Miracema do Tocantins (TO), e o Ramal Meio-Norte ligando Balsas (MA) a Açailândia (MA), com o intuito de analisar o impacto dos novos trechos que vêm sendo propostos pelo plano de expansão da Estrada de Ferro Norte-Sul, no projeto Brasil Central. A rede ferroviária da EFNS, com os ramais Setentrional e Meio-Norte, é ilustrada na Figura 1.

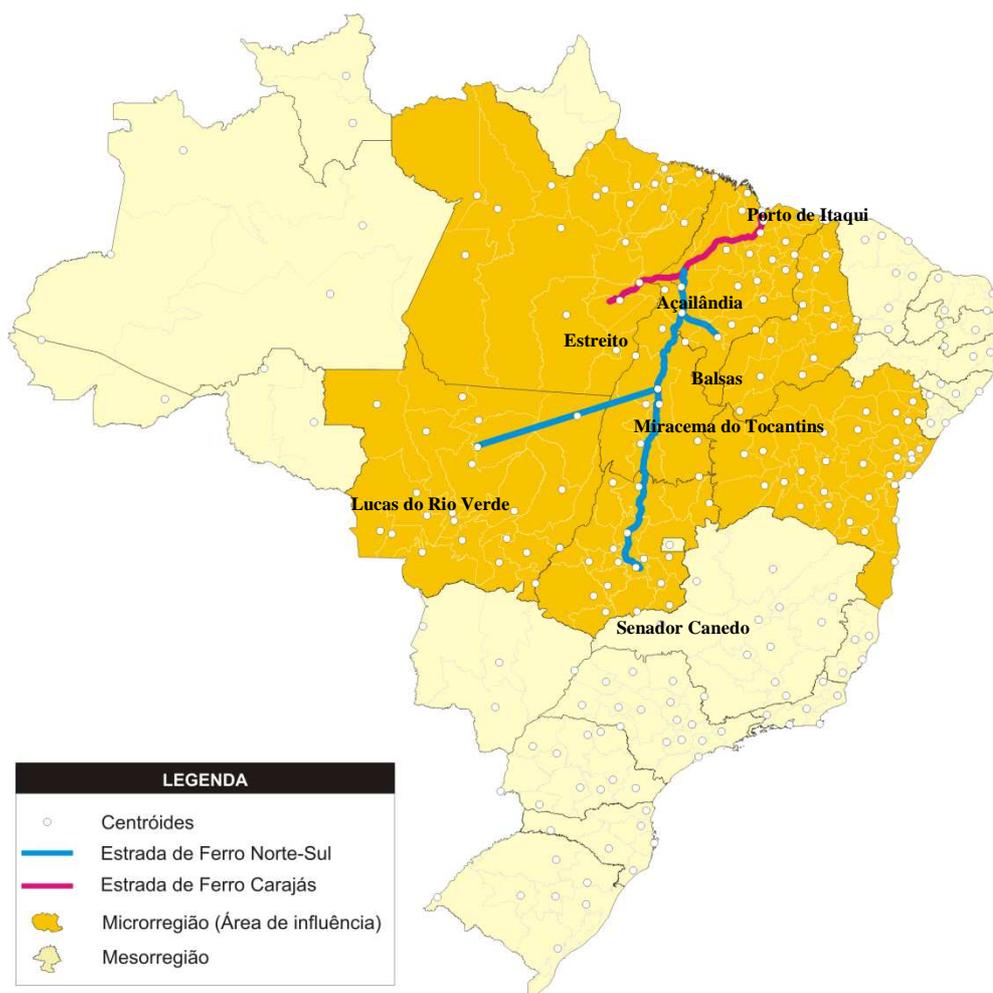


Figura 1 – Estrada de Ferro Norte-Sul com o Ramal Setentrional e Ramal Meio-Norte

4.1 “Cenário Atual”

Os resultados obtidos destacam o produto soja como principal carga com potencial para embarque no trecho ferroviário considerado neste cenário. Os fluxos totais referentes a este produto através da EFNS somaram aproximadamente 1,0 milhão de toneladas. Analisando todos os fluxos de soja com origem na região definida como área de influência da EFNS, verificou-se uma importante participação da Ferronorte como alternativa de escoamento da safra de soja do estado de Mato Grosso, sendo apontada pelo modelo uma movimentação total de quase 3,7 milhões de toneladas para esta ferrovia. Outra rota de transporte importante nesta mesma área de influência é a Hidrovia do Rio Madeira, tendo os resultados revelando fluxos que somam 1,4 milhão de toneladas, captáveis por esta alternativa de transporte. No caso dos

centróides geradores de carga localizados nas regiões Centro, Sul e Sudeste de Goiás o modelo indicou importantes fluxos de soja originados nestas regiões para movimentação através da Ferrovia Centro Atlântica, principalmente nos trechos correspondentes à ligação ferroviária entre Goiânia a Santos e, também, no trecho que liga Uberlândia a Vitória.

A partir de uma análise mais detalhada dos fluxos de soja captáveis pela EFNS, observou-se que a sua maior parte tem origem na microrregião Gerais de Balsas (MA), que respondeu por quase 59% de toda a soja indicada para embarque na EFNS. Também se mostraram importantes geradores de carga captável pela EFNS as microrregiões Porto Nacional (TO) e Miracema do Tocantins (TO), cujos resultados revelaram participações de, respectivamente, 15% e 7% no fluxo total de soja com aptidão para movimentação através desta ferrovia, conforme pode ser observado nos resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Fluxos ferroviários de soja indicados pelo modelo para movimentação através da EFNS e participação de cada fluxo em relação ao total movimentado pela ferrovia (Cenário Atual)

Centróide de Origem	Transbordot ₁	Transbordot ₂	Cargacaptável	Participação (%)
Balsas_MA	Estreito_MA	São Luís_MA	577,65	58,50%
Palmas_TO	Estreito_MA	São Luís_MA	151,23	15,32%
Miracema do Tocantins_TO	Estreito_MA	São Luís_MA	75,65	7,66%
Gurupi_TO	Estreito_MA	São Luís_MA	57,15	5,79%
Paraíso do Tocantins_TO	Estreito_MA	São Luís_MA	56,03	5,67%
Araguaína_TO	Estreito_MA	São Luís_MA	27,14	2,75%
Estreito_MA	Estreito_MA	São Luís_MA	26,94	2,73%
Conceição do Araguaia_PA	Estreito_MA	São Luís_MA	14,87	1,51%
Redenção_PA	Estreito_MA	São Luís_MA	0,77	0,08%
Total			987,43	100%

Considerando o fluxo total de cargas os resultados apontaram como principais zonas geradoras de carga captável pela EFNS as microrregiões Balsas, Aglomerado de São Luís e Confresa. A primeira microrregião foi responsável por quase 38% da somatória total dos fluxos com potencial para movimentação através desta ferrovia; a segunda microrregião originou 31% do volume destes fluxos e a última revelou 10% da carga total captável pela ferrovia (vide Tabela 2).

Tabela 2 – Quantidade de carga captável pela EFNS originada a partir de cada centróide gerador de carga e participação deste na quantidade total indicada para movimentação através da ferrovia (Cenário Atual)

Centróide de origem	Microrregião	Carga captável	Participação
Balsas_MA	Gerais de Balsas	577,65	38,61%
São Luís_MA	Aglomeración Urbana de São Luís	469,04	31,35%
Palmas_TO	Porto Nacional	151,23	10,11%
Miracema do Tocantins_TO	Miracema do Tocantins	75,65	5,06%
Estreito_MA	Porto Franco	61,49	4,11%
Gurupi_TO	Gurupi	57,15	3,82%
Paraíso do Tocantins_TO	Rio Formoso	56,03	3,75%
Araguaína_TO	Araguaína	27,14	1,81%
Conceição do Araguaia_PA	Conceição do Araguaia	14,87	0,99%
Confresa_MT	Norte Araguaia	4,86	0,32%
Redenção_PA	Redenção	0,77	0,05%
Imperatriz_MA	Imperatriz	0,13	0,01%
Total geral		1496,01	100%

Quanto aos produtos indicados para movimentação através da EFNS destacaram-se soja, derivados de petróleo, álcool e fertilizantes, na proporção indicada pela Figura 2.

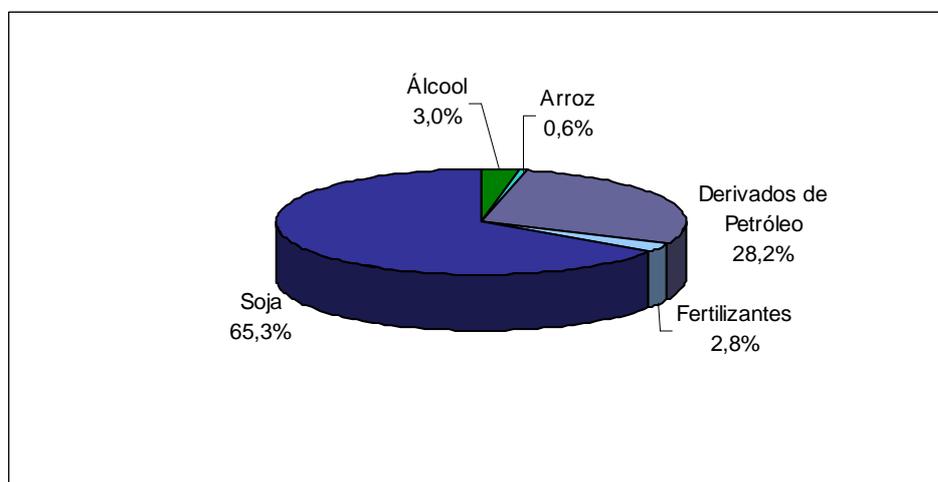


Figura 2 – Participação dos fluxos de cada produto na carga captável total pela EFNS (Cenário Atual)

Os resultados obtidos para o Cenário Atual, indicaram um total de 1,5 milhão de toneladas de carga com aptidão para ser transportado através do trecho da Estrada de Ferro Norte-Sul que

se encontra atualmente em operação, entre Estreito (MA) e São Luís (MA). É importante frisar que esta ferrovia transportou em 2005 quase que exclusivamente soja, atingindo um montante de 1,2 milhão de toneladas, segundo dados da Agência Nacional de Transporte Terrestre. Ao comparar-se os fluxos de soja indicados pelo modelo para embarque na EFNS, que somaram aproximadamente 1,0 milhão de toneladas, considerando o Cenário Atual, observou-se que a quantidade de carga captável estimada para a EFNS revelou-se ligeiramente inferior em relação à quantidade de soja realmente embarcada na ferrovia. Cabe destacar que método e o modelo proposto envolvem uma série de estimativas dos níveis de oferta e demanda de carga em cada zona, além de uma série de pressupostos a respeito do comportamento do embarcador, mas a quantidade de carga captável de soja indicada pelos resultados mostrou-se próxima da quantidade real transportada pela ferrovia.

4.2 “Cenário Senador Canedo”

No caso do produto soja, os resultados observados para este novo cenário, que considera a expansão da EFNS chegando até Senador Canedo (GO), não revelaram variação significativa da quantidade de soja captável pela EFNS em relação ao observado para o “Cenário Atual”. O volume de soja com preferência de transporte através da EFNS, nas condições deste cenário, totalizou 1,2 milhão de toneladas. No entanto, verifica-se a alocação de alguns fluxos em direção a novos pontos de transbordo que seriam atendidos pela expansão da ferrovia. Ao contrário do “Cenário Atual”, que revelou movimentação de cargas concentrada no ponto de transbordo localizado em Estreito (MA), destacaram-se novas localidades como pontos de transbordo da EFNS, tais como os municípios de Palmas (TO) e Imperatriz (MA). Os fluxos de soja observados são apresentados na Tabela 3.

Assim como no cenário anterior, a Ferronorte e a Hidrovia do Rio Madeira se mostraram importantes alternativas para o escoamento da produção de soja oriunda do Estado de Mato Grosso, captando grande parte da produção local. No caso das regiões produtoras goianas, principalmente as regiões centrais, sul e sudeste do estado, os resultados apontaram como principal alternativa de transporte ferroviário a FCA, com fluxos direcionados a Santos (SP) e Vitória (ES).

Tabela 3 - Fluxos ferroviários de soja indicados pelo modelo para a EFNS e participação de cada fluxo em relação ao total movimentado pela ferrovia (Cenário Senador Canedo)

Centróide de Origem	Transbordo t_1	Transbordo t_2	Carga captável	Participação
Balsas_MA	Estreito_MA	São Luís_MA	577,65	49,43%
Confresa_MT	Palmas_TO	São Luís_MA	154,27	13,20%
Palmas_TO	Palmas_TO	São Luís_MA	151,23	12,94%
Miracema do Tocantins_TO	Palmas_TO	São Luís_MA	75,65	6,47%
Gurupi_TO	Palmas_TO	São Luís_MA	57,15	4,89%
Paraíso do Tocantins_TO	Palmas_TO	São Luís_MA	56,03	4,79%
Araguaína_TO	Estreito_MA	São Luís_MA	27,14	2,32%
Estreito_MA	Estreito_MA	São Luís_MA	26,94	2,31%
Conceição do Araguaia_PA	Estreito_MA	São Luís_MA	14,87	1,27%
Dianópolis_TO	Palmas_TO	São Luís_MA	14,21	1,22%
Araguatins_TO	Imperatriz_MA	São Luís_MA	12,8	1,10%
Redenção_PA	Estreito_MA	São Luís_MA	0,77	0,07%
Total			1168,71	100%

Note-se que os centróides geradores de carga mais relevantes para a EFNS, no caso do produto soja, são as microrregiões Gerais de Balsas (MA), Norte Araguaia (MT), Porto Nacional (TO) e Miracema do Tocantins (TO). Ao se analisar os resultados, a microrregião Norte Araguaia (MT), cujo centróide é o município de Confresa (MT), destaca-se como nova zona de geração de carga, em comparação com os fluxos observados para o Cenário Atual.

Além da descrição dos fluxos de carga captáveis pela EFNS, a identificação das localidades com elevado potencial para instalação da infra-estrutura de transbordo também é uma informação importante para o planejamento estratégico da rede ferroviária. A partir dos resultados observados, as localidades que revelaram potencial para instalação de mecanismos de transbordo ao longo da Estrada de Ferro Norte-Sul foram os centróides São Luís (MA), Palmas (TO), Estreito (MA) e Senador Canedo (GO). Os respectivos volumes de carga através dos pontos de transbordo da EFNS são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade de carga indicada pelo modelo para embarque através dos pontos de transbordo da EFNS e participação de cada ponto de transbordo no volume total movimentado pela ferrovia (Cenário Senador Canedo)

Transbordot _l	Carga captável (10 ⁶ toneladas)	Participação (%)
São Luís_MA	1126,94	36,95%
Palmas_TO	730,80	23,96%
Estreito_MA	699,45	22,93%
Senador Canedo_GO	378,63	12,41%
Açailândia_MA	50,95	1,67%
Ceres_GO	42,00	1,38%
Imperatriz_MA	21,14	0,69%
Total	3049,00	100,00%

Considerando o fluxo total de cargas indicado para movimentação através da EFNS, os principais centróides geradores de carga captável pela ferrovia foram as microrregiões Aglomeração Urbana de São Luís (MA), Balsas (MA), Porto Nacional (TO), Goiânia (GO) e Norte Araguaia (MT). A Tabela 5 mostra os principais centróides geradores de carga captável pela EFNS e a participação destes no fluxo total de carga indicado para a ferrovia.

Tabela 5 – Quantidade de carga captável pela EFNS originada a partir de cada centróide gerador de carga e participação deste na quantidade total indicada para movimentação através da ferrovia (Cenário Senador Canedo)

Centróide de origem	Microrregião	Carga captável (10 ³ toneladas)	Participação (%)
São Luís_MA	Agglomeração Urbana de São Luís	1126,94	37,58%
Balsas_MA	Gerais de Balsas	577,65	19,26%
Palmas_TO	Porto Nacional	367,26	12,25%
Goiânia_GO	Goiânia	318,03	10,61%
Confresa_MT	Norte Araguaia	154,27	5,14%
Estreito_MA	Porto Franco	79,03	2,64%
Miracema do Tocantins_TO	Miracema do Tocantins	75,65	2,52%
Acreúna_GO	Vale do Rio dos Bois	60,17	2,01%
Gurupi_TO	Gurupi	57,15	1,91%
Paraíso do Tocantins_TO	Rio Formoso	56,03	1,87%
Ceres_GO	Ceres	48,44	1,62%
Araguaína_TO	Araguaína	27,14	0,91%
Conceição do Araguaia_PA	Conceição do Araguaia	14,87	0,50%
Dianópolis_TO	Dianópolis	14,21	0,47%
Araguatins_TO	Bico do Papagaio	12,8	0,43%
Imperatriz_MA	Imperatriz	8,34	0,28%
Redenção_PA	Redenção	0,77	0,03%
Total		2998,75	100,00%

Quanto aos produtos com maior potencial para embarque na EFNS, destacaram-se: soja, derivados de petróleo, fertilizantes e farelo de soja como cargas captáveis pela EFNS (vide Figura 3).

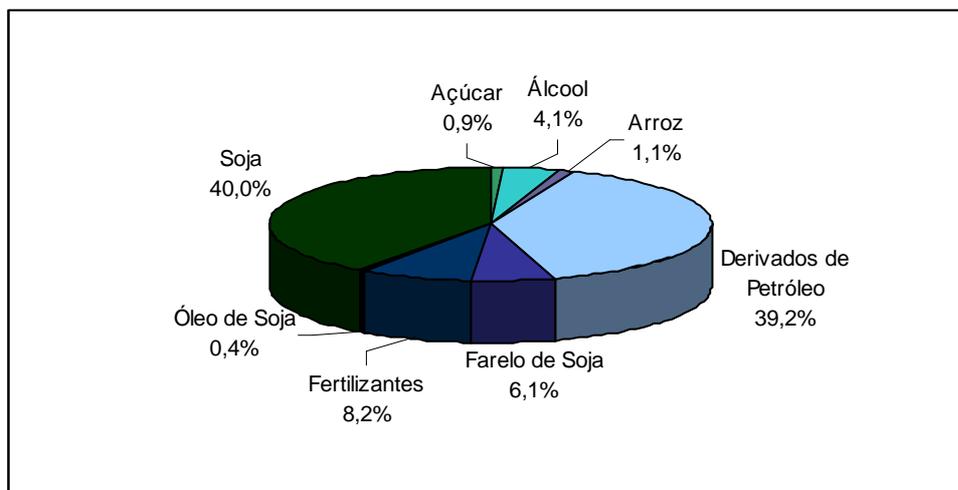


Figura 3 – Participação dos fluxos de cada produto na carga captável total pela EFNS (Cenário Senador Canedo)

Ao se comparar o “Cenário Senador Canedo” com o “Cenário Atual”, notou-se que a captação de carga pela ferrovia aumentou com a expansão da ferrovia, visto que no caso do “Cenário Senador Canedo” observou-se uma demanda de carga total de 3,0 milhões de toneladas, valor superior à demanda de carga no “Cenário Atual”, que revelou um total de 1,2 milhão de carga captável pela EFNS.

4.3 “Cenário Senador Canedo com Ramais Planejados”

O “Cenário Senador Canedo com Ramais Planejados” considera o funcionamento dos ramais Setentrional (ligando Lucas do Rio Verde – MT a Miracema do Tocantins – TO) e Meio-Norte (ligando Balsas - MA a Estreito – MA), propostos no Projeto Brasil Central.

Os resultados referentes a este cenário revelam novos fluxos de soja com origens no estado de Mato Grosso, principalmente a partir da microrregião de Sorriso (MT), passando pelo ponto de transbordo de Lucas do Rio Verde (MT) com destino ao Porto de Itaquí, em São Luís (MA). Também, notou-se uma importante movimentação de soja oriunda da microrregião de Confresa (MT) com destino ao Porto de Itaquí. Observou-se que o ramal Meio-Norte não estimulou aumento da quantidade de soja captada pela EFNS com origem em Balsas, em relação aos demais cenários; no entanto, o modelo indicou embarque destes fluxos no ponto de transbordo localizado em Balsas (MA), ao invés do ponto de transbordo Estreito (MA), conforme vinha sendo apontado pelos resultados anteriores (vide Tabela 6). O total de carga

captável pela EFNS, considerando o produto soja, foi de 1,7 milhão de toneladas, revelando-se superior à movimentação deste produto observada nos demais cenários. Os resultados apontaram como principais centróides geradores de carga as microrregiões Alto Teles (MT), Balsas (MA) e Norte Araguaia (MT), no caso do produto soja.

Tabela 6 – Fluxos ferroviários de soja indicados pelo modelo para a EFNS e participação de cada fluxo em relação ao total movimentado pela ferrovia (Cenário Senador Canedo com Ramais Planejados)

Centróide de Origem	Transbordot ₁	Transbordot ₂	Carga captável (10 ³ toneladas)	Participação (%)
Sorriso_MT	Lucas do Rio Verde_MT	São Luís_MA	645,42	38%
Balsas_MA	Balsas_MA	São Luís_MA	577,65	34%
Confresa_MT	Confresa_MT	São Luís_MA	154,27	9%
Palmas_TO	Palmas_TO	São Luís_MA	151,23	9%
Paraíso do Tocantins_TO	Palmas_TO	São Luís_MA	56,03	3%
Paragominas_PA	Açailândia_MA	São Luís_MA	50,95	3%
Gurupi_TO	Gurupi_TO	Palmas_TO	30,55	2%
Estreito_MA	Estreito_MA	São Luís_MA	24,24	1%
Araguatins_TO	Imperatriz_MA	São Luís_MA	8,34	0%
MiracemadoTocantins_TO	Palmas_TO	São Luís_MA	6,60	0%
Estreito_MA	Estreito_MA	Palmas_TO	2,70	0%
Total			1708,00	100%

A análise do volume de carga nos pontos de transbordo revelou como pontos de transbordo com maior potencial de captação de cargas as seguintes localidades: São Luís do Maranhão (MA), Lucas do Rio Verde (MT), Balsas (MA), Confresa (MT) e Palmas (TO), em ordem de importância. Mais informações a respeito da quantidade de carga nos locais considerados como terminais de transbordo podem ser visualizadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Quantidade de carga indicada pelo modelo para embarque através dos pontos de transbordo da EFNS e participação de cada ponto de transbordo no volume total movimentado pela ferrovia (Cenário Senador Canedo com Ramais Planejados)

Transbordot _i	Carga captável (10 ⁶ toneladas)	Participação (%)
São Luís_MA	1937,06	44%
Lucas do Rio Verde_MT	1103,90	25%
Balsas_MA	577,65	13%
Palmas_TO	300,49	7%
Confresa_MT	163,08	4%
Senador Canedo_GO	73,91	2%
Açailândia_MA	52,72	1%
Estreito_MA	50,61	1%
Ceres_GO	45,32	1%
Gurupi_TO	30,55	1%
Porto Franco_MA	19,25	0%
Imperatriz_MA	8,34	0%
Chapadão do Sul_MS	1,79	0%
Total	4364,68	100%

No caso do “Cenário Senador Canedo com Ramais Planejados”, o total de carga estimado para movimentação através da EFNS foi de, aproximadamente, 4,3 milhões de toneladas, 1,3 milhão de toneladas de cargas adicionais em relação ao “Cenário Senador Canedo”. Os principais centróides geradores de carga captável pela ferrovia podem ser visualizados na Tabela 8.

Tabela 8 – Quantidade de carga captável pela EFNS originada a partir de cada centróide gerador de carga e participação deste na quantidade total indicada para movimentação através da ferrovia (Cenário Senador Canedo com Ramais Planejados)

Centróide de origem	Microrregião	Carga captável (10 ³ toneladas)	Participação (%)
São Luís_MA	Aglomeração Urbana de São Luís	1937,06	44%
Sorriso_MT	Alto Teles	1103,90	25%
Balsas_MA	Geral de Balsas	577,65	13%
Palmas_TO	Porto Nacional	229,02	5%
Confresa_MT	Norte Araguaia	163,08	4%
Acreúna_GO	Vale do Rio dos Bois	73,48	2%
Estreito_MA	Porto Franco	69,86	2%
Paraíso do Tocantins_TO	Rio Formoso	56,03	1%
Ceres_GO	Ceres	54,37	1%
Paragominas_PA	Paragominas	52,72	1%
Gurupi_TO	Gurupi	30,55	1%
Araguatins_TO	Bico do Papagaio	8,34	0%
Miracemado Tocantins_TO	Miracema do Tocantins	6,60	0%
Rio Verde_GO	Iporá	1,85	0%
Anápolis_GO	Anápolis	0,10	0%
Anicuns_GO	Anicuns	0,05	0%
Total		4364,68	100%

Os resultados observados neste cenário também mostraram que os principais produtos que revelaram fluxos de carga captáveis pela ferrovia foram soja, derivados de petróleo, farelo de soja e fertilizantes, semelhantemente aos resultados observados no “Cenário Senador Canedo”. A proporção de cada carga captável pela ferrovia no volume total com potencial de movimentação através dos trechos ferroviários considerados pode ser visualizada na Figura 4.

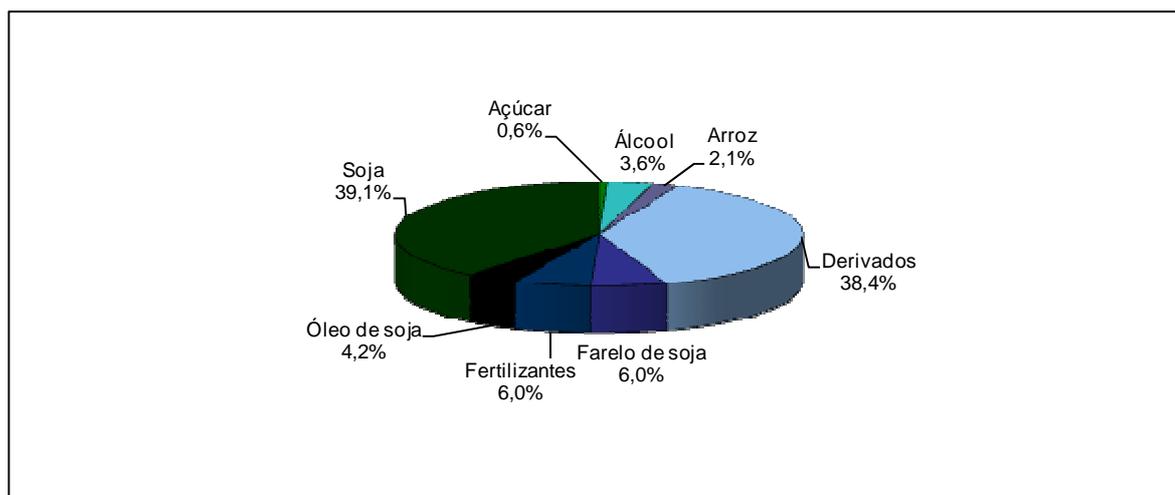


Figura 4 – Participação dos fluxos de cada produto na carga captável total pela EFNS (Cenário Senador Canedo com Ramais Planejados)

Cabe frisar que existem vários fatores interferindo na decisão de embarcadores a respeito da localidade para a qual será destinada sua carga e sobre a melhor alternativa de transporte para o escoamento dos fluxos de transporte. Por exemplo, os agentes envolvidos num sistema de transporte podem tomar a decisão de escoar a produção para uma localidade referenciando-se pelos preços oferecidos em cada mercado e não apenas baseados no custo de transporte. A escolha da modalidade de transporte também é um processo bastante complexo e pode ser influenciada por uma série de atributos de transporte, como flexibilidade, tempo de percurso (transit time), cadência, confiabilidade, custo, disponibilidade da modalidade de transporte, intensidade do tráfego, segurança, dentre outros fatores. Conforme apresentado anteriormente, a literatura oferece uma série de modelos para estimativa da demanda de carga que buscam capturar a influência de vários fatores na simulação do comportamento e decisão dos agentes envolvidos em um sistema de transportes (embarcadores e transportadores), que não apenas o custo de transporte. De maneira geral, estes modelos buscam uma representação e simulação o mais fidedigna possível dos processos envolvidos na tomada de decisão de embarcadores e transportadores; entretanto, à medida que se desenvolvem modelos mais complexos tornam-se necessários novos parâmetros, cujas estimativas e calibrações envolvem amplas pesquisas de campo. Além disso, muitos destes modelos compreendem sistemas de equações não-lineares, o que dificulta a garantia da obtenção de soluções únicas e que representem um ponto de ótimo global.

Cabe ressaltar que, em decorrência de a maior parte das cargas relevantes consideradas neste estudo serem commodities de baixo valor agregado que revelam importante participação do custo de transporte no seu preço final, revela-se mais adequado considerarmos o custo de transporte como principal atributo que interfere na decisão dos embarcadores de cargas desta natureza.

A soja foi apontada como principal carga com aptidão para movimentação através do trecho ferroviário, seguido dos derivados de petróleo, farelo de soja e fertilizantes. Este resultado é consistente pelo fato de a produção de soja ser uma das atividades mais importantes da área de influência da EFNS. Ademais, trata-se de uma *commodity* com grande volume de exportação.

Os resultados foram obtidos considerando apenas os níveis de oferta e demanda relativos ao ano base 2005. No entanto, os projetos ferroviários são projetos que envolvem longos prazos de maturação. Neste sentido, é de fundamental importância a estimativa da demanda de carga ferroviária considerando quantidades de produção e consumo em períodos futuros, de forma a propiciar planejamentos com longos horizontes temporais. A previsão da demanda de carga futura pode ser feita fazendo uso do mesmo método apresentado, após a aplicação de taxas de crescimento esperadas aos níveis de oferta e demanda em cada centróide.

O “Cenário Senador Canedo com Ramais Planejados” apresentou um incremento de carga captável significativo, em comparação aos resultados do “Cenário Senador Canedo”, principalmente, resultante de importantes fluxos de soja com origem na região de Sorriso (MT). Esta constatação suporta a hipótese de que o ramal setentrional será uma importante alternativa de transporte para o escoamento da produção do Norte do Mato Grosso. Já no caso do Ramal Meio-Norte, este não propiciou um aumento relevante da carga captável pela ferrovia, apenas absorveu o fluxo da perna rodoviária que ligava Balsas (MA) a Estreito (MA), observado no “Cenário Atual”.

Conclusões

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 unidades geográficas que ofertam cargas captáveis pelo trecho ferroviário da EFNS. Este tipo de informação é bastante relevante, pois indica as zonas que apresentam fluxos de carga com maior potencial para utilização da ferrovia, ou seja, possibilita a identificação das regiões que revelam potencial de uso daquela infra-estrutura de transporte.

Outro tipo de informação de grande utilidade fornecida pelo modelo proposto é a indicação da quantidade de carga que passa nas localidades definidas como pontos de transbordo. A análise destes 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 infra-estruturas.

Os resultados também apontaram as principais cargas que revelam aptidão para movimentação através da via ferroviária analisada, sendo esta informação relevante para o planejamento estratégico da ferrovia e identificação do mercado potencial. Ademais, a análise das cargas que seriam possivelmente transportadas no trecho ferroviário influenciará a escolha dos tipos de equipamentos de transporte que devem ser utilizados.

Outro subsídio para a decisão dos agentes envolvidos no planejamento estratégico da ferrovia refere-se à avaliação dos impactos decorrentes dos projetos de expansão da malha ferroviária na captação de carga pela ferrovia. Este tipo de análise é importante para mensuração dos benefícios ou receitas que seriam gerados por aquela obra.

A estimativa da demanda de carga captável fornece subsídios para o dimensionamento da infra-estrutura viária, da frota de veículos e outros equipamentos necessários para a movimentação dos fluxos e, também, para a estimativa da receita que seria gerada pela produção de transporte naquela ferrovia. Estas são informações necessárias para análise de viabilidade econômica da rede ferroviária.

Uma abordagem sugerida para novos estudos seria analisar as variações da quantidade de carga captável pela ferrovia em função de diferentes valores de frete ferroviário. Esta análise revelaria a competitividade da ferrovia para cada valor de frete considerado, dando assim o devido suporte para políticas de tarifação.

Pelo fato de os resultados corresponderem apenas ao ano-base de 2005, sugere-se que o modelo proposto seja aplicado com dados de projeções futuras dos valores de oferta e demanda de carga em cada unidade geográfica considerada na área de influência da EFNS. Sabe-se que os projetos ferroviários envolvem longos períodos para a amortização do capital investido, sendo portanto de fundamental importância a previsão de fluxos de cargas através da ferrovia em períodos futuros. Ademais, cabe-se ressaltar que a análise unitemporal apresentada neste trabalho não permite observar ou considerar os efeitos de indução de crescimento econômico que as ferrovias exercem na sua área de influência.

Considerando o trecho da ferrovia que se encontra atualmente em operação (Cenário Atual), o fluxo captável de soja indicado mostrou-se ligeiramente inferior ao volume de soja realmente embarcado na ferrovia em 2005. A diferença entre volume estimado e volume realmente embarcado foi de aproximadamente 20%. Estes apontamentos realçam que as análises dos resultados de modelos de transportes devem ser vistas com ressalvas, já que as etapas da modelagem para a estimativa da oferta e demanda de carga envolvem uma série de pressupostos, simplificações, ajustes e adaptações dos parâmetros usados o que dificulta uma representação totalmente fiel dos fluxos de cargas. Esta relativa "imprecisão" do modelo não diminui a importância dos resultados encontrados nem inviabiliza o uso deste método como ferramenta de suporte para o planejamento estratégico de redes de transporte.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRES - ANTT. **VALEC - Engenharia, Construções e Ferrovias S.A. Ferrovia Norte - Sul**. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br>> Acesso em: 24 out. 2006.
- AHUJA, R. K. et al. **Network flows: theory, algorithms, and applications**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1993, 846 p.
- BARAT, J. A. **A evolução dos transportes no Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Instituto de Planejamento Econômico e Social, 1978, 385 p.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Secretaria de Comércio Exterior - SECEX. **ALICE-Web**. Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/default.asp>>. Acesso em: 13 maio 2006.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CNA. **Corredores de escoamento da produção agrícola**. 2005. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20 jun. 2006.
- CRAINIC, T.G.; FLORIAN M. **Strategic planning of freight transportation in Brazil: methodology and applications**. Quebec: Universidade de Montreal, Centre de recherche sur les transports. 1989. p. 638-642.
- CRAINIC, T.G.; FLORIAN, M.; LEAL, J.E. A model for the strategic planning national freight transportation by rail. **Transportation Science**, Hanover, v. 24, n. 1, p. 1-24, 1990.
- FERNANDEZ, L. J. E.; DE CEA, J. C.; SOTO, O. A. A multi-modal supply-demand equilibrium model for predicting intercity freight flows. **Transportation Research Part B**, v.37, n.37, p. 615-640, 2004.
- FRIESZ, T. L.; HARKERS, P. T. Multicriteria spatial price equilibrium network design: theory and computational results. **Transportation Research Part B**, v.17B, n. 5, p. 411-426, Out. 1983.
- FRIEZ, T. L.; GOTTFRIED, J.; MORLOK, E. K. **A freight network equilibrium model**. Philadelphia, University of Pennsylvania, 1981. 89 p. Relatório Técnico CUE-FNEM-1981-8-1.

- GARRIDO, J. **Mais cargas sobre os mesmos trilhos**. Valor Setorial Ferrovias, p. 7-12, set. 2006.
Disponível em: <<http://www.antf.org.br>>. Acesso em 12 nov. 2006.
- GARRIDO, R. A.; MAHMASSANI, H.S. Forecasting freight transportation demand with the space time multinomial probit model. **Transportation Research Part B**, v. 34, n.5, p. 403-418, June 2000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico 2000**.
Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 18 maio 2006.
- MARTINS, R. S. **Racionalização da infra-estrutura de transporte no Estado do Paraná: o desenvolvimento e a contribuição das ferrovias para a movimentação de grãos e farelo de soja**. 1998. 216 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- MONTEIRO et al. **O processo de Decisão do Modal no Transporte de Cargas**. In: Caixeta-Filho et al. (Org). Transporte e Logística em Sistemas Agroindustriais. São Paulo, Editora Atlas, 2001, 296p.
- 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**. 2004. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- OUM, T. T. A cross sectional study of freight transport demand and rail-truck competition in Canada. **The Bell Journal of Economics**, Santa Monica, v. 10, n. 2, p. 463-482, 1979.
- SAMUELSON, P. A. Spatial price equilibrium and linear programming. **American Economic Review**, Stanford, v. 42, p 283-303, 1952.
- TAKAYAMA, T.; JUDGE, G. G. Equilibrium among spatially separated markets: a reformulation. **Econometrica**, New York, v. 32, n. 4, p. 510-524, 1964.
- VALEC – ENGENHARIA, CONSTRUÇÕES E FERROVIAS S.A. **Situação atual**. Disponível em: <<http://www.valec.gov.br>>. Acesso em: 15 mai. 2006.