



Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação  
Departamento de Telemática

## **ANÁLISE DA MOVIMENTAÇÃO LOGÍSTICA E COMPETITIVIDADE DA SOJA BRASILEIRA: UMA APLICAÇÃO DE UM MODELO DE EQUILÍBRIO ESPACIAL DE PROGRAMAÇÃO QUADRÁTICA**

***Andréa Leda Ramos de Oliveira Ojima***

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC–UNICAMP) como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Banca Examinadora:

**Prof. Dr. Akebo Yamakami (Orientador)**  
(DT-FEEC-UNICAMP)

**Prof. Dr. Luiz Henrique Antunes Rodrigues**  
(Feagri-UNICAMP)

**Prof. Dr. Anésio dos Santos Junior**  
(DENSIS-FEEC-UNICAMP)

**Prof. Dr. Takaaki Ohishi**  
(DENSIS-FEEC-UNICAMP)

Campinas, Fevereiro de 2004.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Oj3a Ojima, Andréa Leda Ramos de Oliveira  
Análise da movimentação logística e competitividade da soja brasileira: uma aplicação de um modelo de equilíbrio espacial de programação quadrática / Andréa Leda Ramos de Oliveira Ojima. --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Akebo Yamakami.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Transporte de mercadorias. 2. Soja-Transporte. 3. Logística. 4. Otimização matemática. I. Yamakami, Akebo. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

## RESUMO

A proposta deste trabalho é otimizar a distribuição logística da soja brasileira aplicando-se um modelo de equilíbrio espacial de programação quadrática. O sistema de transporte da soja é um ponto importante na cadeia produtiva, pois a maior parte dos custos desta *commodity* é dado pelos custos de transporte. Nesse sentido, a otimização desse segmento é essencial para aumentar a competitividade da soja brasileira no mercado internacional. O complexo soja brasileiro tem aumentado a sua participação nas exportações dos produtos agrícolas nos últimos dez anos, mas os investimentos de outros países faz com que as exportações brasileiras não fiquem focadas apenas no crescimento da produção mas sim na eficiência de toda a cadeia produtiva.

Para compor o modelo as regiões de excesso de oferta e demanda foram estimadas algebricamente com informações de produção, capacidade de processamento, elasticidades-preço de excesso de oferta e demanda e preços de mercado, assim podemos obter os fluxos de distribuição da soja brasileira. Desta maneira, podemos projetar novos cenários alterando-se os custos de transporte dos diferentes modais envolvidos através da implantação de novos projetos viários. O modelo pode ser expandido inserido-se novas regiões de destaque no segmento do complexo soja e, assim, conduzir políticas para novos investimentos no setor de transportes.

## ABSTRACT

The purpose of this paper was to analyse the logistical distribution of soybean in Brazil by applying a quadratic programming to a spatial equilibrium model. The soybean transportation system is an important part of the soybean complex in Brazil, the major part of the costs of this commodity is derived from the transportation costs. And, in this manner, to optimize this ring of the process is essential to a better competitiveness of the brazilian soybean in the international market. The brazilian soybean complex have been increasing its agricultural share of total exportation value in the last ten years but due to other countries' investments the brazilian exportations can't be only focused on increasing its production but it still have to be more efficient.

To compose the model the regional excess demands and supplies were algebraically estimated with information on region production, processing capacity and associated output, elasticities of excess demands and supplies and price. So we obtained the brazilian soybean distribution flows. This way, we have reached a model that can project new frames by switching the transportation costs from improvements on the transportation system. The model can be expanded to other regions for conduce the policy makers to new investments in the sector.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus pais – Suely e Flávio – pelo apoio e suporte que dedicaram em todas as minhas decisões, me encorajando sempre. Desde o início de minha vida universitária, com todas as decisões que ela implica, eles compreenderam minhas dúvidas e dificuldades; e hoje posso dizer com toda a certeza que eles foram e serão fundamentais em toda a minha vida. Afinal, *“Quando se faz a coisa certa sempre se sabe o resultado”*. À minha irmã Alessandra pelo carinho, incentivo e pensamentos, mesmo que distante, que me fortaleceram muito.

Não poderia deixar de agradecer ao meu eterno companheiro, amigo e marido Ricardo, por tudo que tem feito por mim nestes últimos anos, fazendo com que tudo se tornasse mais fácil nos momentos mais difíceis, além de todo tempo despendido me auxiliando na construção desta tese. E à Margarete, Mario e Heloisa pelo carinho e atenção.

Ao meu orientador Prof. Dr. Akebo Yamakami, que confiou em meu potencial e ofereceu toda a orientação e o suporte necessário. Ao Prof. Dr. Luiz Henrique Antunes Rodrigues (Feagri/UNICAMP) que acompanhou o desenvolvimento do meu trabalho desde a graduação e ao Prof. Dr. José Vicente Caixeta Filho (ESALQ/USP), ao Prof. Dr. Stephen Fuller (Texas A&M University), ao Prof. Dr. Luiz Fellin (Texas A&M University), pelo “ponta pé” inicial.

Destaco ainda os amigos, próximos e distantes, que estiveram sempre ao meu lado, pelos momentos de descontração e por poder contar com eles em qualquer ocasião. Assim gostaria de registrar entre estas pessoas: Marcos e Tsai, pelas dúvidas esclarecidas, Rachel, Alessandro e Carla, Susy, Daniela, Ieda, Marina, Renata, a todas as Bekosas, Eliana, Tiago, Adriano, Carlinhos, Fabiana, Adriana, Filastor, Maercio, aos amigos da Brasil Ferrovias, Rita, Afonso, Erin, Theresa entre outros que com certeza, são e serão lembrados mesmo que não constem desta breve lista.

*À Ricardo, pois é parte do que sou.*

*"(...) Eu me pergunto: se eu olhar a escuridão com uma lente, verei mais que a escuridão? A lente não devassa a escuridão, apenas a revela ainda mais (...)"(Clarice Lispector, A Paixão Segundo GH).*

# SUMÁRIO

RESUMO .....	II
ABSTRACT.....	II
AGRADECIMENTOS.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE GRÁFICOS.....	IX
INTRODUÇÃO .....	1
1. SISTEMA DE TRANSPORTE.....	11
1.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MODAIS DE TRANSPORTE .....	17
1.1.1. Sistema Rodoviário .....	19
1.1.2. Sistema Ferroviário.....	20
1.1.3. Sistema Hidroviário.....	21
2. METODOLOGIA.....	24
2.1. MODELOS DE EQUILÍBRIO ESPACIAL .....	24
2.2. O MODELO .....	32
2.3. ELASTICIDADES-PREÇO DE EXCEDENTE DE OFERTA E DE DEMANDA .....	37
2.3.1. Elasticidade-preço de excedente de oferta .....	37
2.3.2. Elasticidades-preço do excedente de demanda .....	38
2.4. ESTIMATIVA DOS COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES DE OFERTA E DE DEMANDA.....	39
2.5. ESPECIFICAÇÃO DOS DADOS .....	40
2.6. CUSTOS DE TRANSPORTE .....	50
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	57
3.1. VERIFICAÇÃO .....	57
3.2. VALIDAÇÃO.....	65
3.3. SIMULAÇÕES .....	69
4. CONCLUSÃO .....	72
5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	74

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Comparação das Principais Serviços por Modal de Transporte.....	17
Figura 2 Malha Viária e Principais Portos Utilizados para o escoamento da Soja Brasileira.....	23
Figura 3 Equilíbrio Internacional de Comercialização entre duas Regiões .....	25
Figura 4 Fluxograma do Modelo de Movimentação da Soja.....	33
Figura 5 Produção Brasileira de Soja em 2002 .....	47
Figura 6 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial.....	59
Figura 7 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial.....	60
Figura 8 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial.....	61
Figura 9 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial.....	62
Figura 10 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial.....	63
Figura 11 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial.....	64



# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Matriz de Transporte de Cargas, em Toneladas-Quilômetro, em Países Selecionados* (1999) .....	12
Tabela 2 Matriz de Transporte de Carga no Brasil (%).....	15
Tabela 3 Comparação de custos de transporte de soja em diferentes pólos produtores (US\$/tonelada) .....	16
Tabela 4. Safra Brasileira de Soja – 2002/2003.....	41
Tabela 5 Crescimento Médio Anual da Produção de Soja.....	42
Tabela 6 Capacidade Instalada de Processamento .....	45
Tabela 7 Regiões de Excesso de Oferta e Demanda Nacional.....	48
Tabela 8 Preços e Elasticidades-preço de oferta e demanda .....	49
Tabela 9 Estatísticas dos Custos Rodoviários.....	53
Tabela 10 Estatísticas dos Custos Ferroviários.....	55
Tabela 11 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial para Soja – Cenário A.....	58
Tabela 12 Coeficiente de correlação entre as estimativas e os valores reais .....	65
Tabela 13 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial para Soja – Cenário B.....	70

# LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Principais Países Produtores de Soja – Safra 2003/04.....	2
Gráfico 2 Principais Países Exportadores de Soja – 2002 .....	3
Gráfico 3 Transporte de Carga em Países Selecionados (1999).....	13
Gráfico 4 Transporte de Carga nos EUA, China e Brasil (1999) .....	14
Gráfico 5 Densidade de Infra-estrutura de Transporte (km/1000 km <sup>2</sup> ) .....	14
Gráfico 6 Rendimento Médio da Cultura da Soja .....	43
Gráfico 7 Evolução das Exportações de Soja .....	44
Gráfico 8 Dispersão dos Custos Rodoviários por Quilometro .....	52
Gráfico 9 Dispersão dos Custos Ferroviários por Quilometro.....	55
Gráfico 10 Correlação da Oferta .....	66
Gráfico 11 Correlação do Preço de Equilíbrio .....	67
Gráfico 12 Correlação da Demanda Doméstica .....	67
Gráfico 13 Correlação da Demanda Internacional .....	68

# INTRODUÇÃO

No Brasil, a soja chegou com os primeiros imigrantes japoneses em 1908, mas foi introduzida oficialmente no Rio Grande do Sul em 1914. Entretanto a sua expansão se deu efetivamente a partir dos anos 70, com o interesse crescente da indústria de óleo e a demanda do mercado internacional (Câmara, 1996). Até 1975, toda a produção brasileira de soja era realizada com cultivares e técnicas importadas dos Estados Unidos, onde as condições climáticas e os solos são diferentes do Brasil. Assim, a soja só produzia bem em escala comercial, nos estados do Sul, onde os cultivares americanos encontravam condições semelhantes às de seu país de origem.

A criação do cultivar Tropical pelos melhoristas levou a soja para as regiões de clima tropical no Brasil (Centro-Oeste, Nordeste e Norte). A partir daí, inúmeros outros cultivares nacionais foram criados para dar estabilidade ao cultivo de soja nas chamadas regiões de fronteira agrícola. Além disso, a soja viabilizou a implantação de indústrias de óleo, fomentou o mercado de sementes e deu estabilidade à exploração econômica das terras onde antes só existiam matas e cerrados.

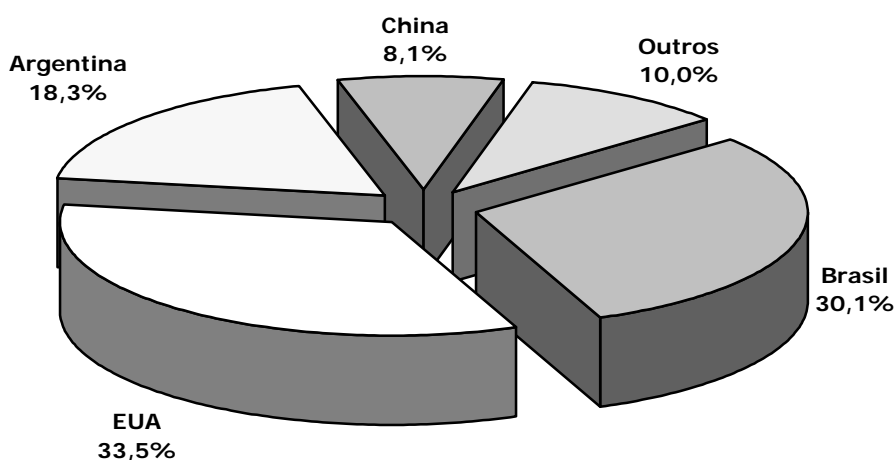
O complexo soja, isto é grão-farelo-óleo, constitui-se numa das mais importantes *commodities* nacionais, sendo responsável, nas últimas safras, pela captação de divisas no mercado internacional da ordem de US\$5,0 a US\$6,0 bilhões (FNP Consultoria). De acordo com os dados do Centro de Estudos Avançado em Economia Aplicada (CEPEA), considerando o sistema agroindustrial do Brasil como um todo, a participação do agronegócio no PIB

brasileiro vem se destacando; em 2001 a sua participação em relação ao PIB do País ficou próximo a 28,8%, ou seja, R\$ 345 bilhões (considerando o PIB de 2001 de R\$ 1.199 bilhões). Desse total, a cadeia agro-industrial da agricultura, incluindo a soja, participa com cerca de 69%, que significa um montante de R\$ 238 bilhões anuais.

Assim como no mercado interno, a soja também vem se destacando na captação de divisas no mercado internacional. Na safra de 2001/02 as exportações do complexo soja responderam por 9% das exportações totais de US\$ 58 bilhões e 41% das vendas externas do agronegócio que somaram US\$ 24 bilhões (FNP Consultoria).

Os principais produtores mundiais de soja são os Estados Unidos, Brasil, Argentina e China, que juntos produzem aproximadamente 90% da soja do mundo. A produção mundial prevista para safra 2003/04 é de 199,46 milhões de toneladas, segundo dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).

**Gráfico 1 Principais Países Produtores de Soja – Safra 2003/04**

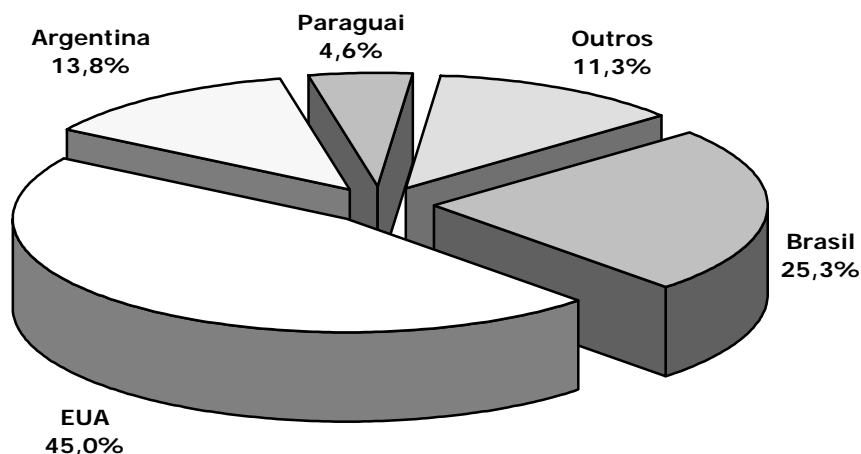


Fonte: USDA, 2003.

O Brasil teve uma produção de 51,6 milhões de toneladas na safra de 2002/03 e para safra de 2003/04 está prevista uma produção em torno de 60,0 milhões de toneladas, tendo um incremento de aproximadamente 16,3%. A produção brasileira de 2003/04 corresponde a cerca de 30% da produção mundial, já para os Estados Unidos está previsto uma produção, para safra 2003/04, de 66,7 milhões de toneladas correspondendo a 33,5% da produção mundial (vide gráfico 1).

Os principais produtores mundiais de soja também são os principais exportadores. O volume mundial comercializado em 2002 ficou em torno de 63,17 milhões de toneladas e o Brasil, que é o segundo maior exportador, foi responsável por aproximadamente 25,3% do total exportado.

**Gráfico 2 Principais Países Exportadores de Soja – 2002**



Fonte: USDA, 2003.

A soja movimenta grande montante de recursos e divisas no complexo agroindustrial, mas por ser um produto de baixo valor agregado, é necessário que haja uma otimização da produção, estocagem e transporte. Assim, técnicas de modelagem para a otimização dessa cadeia estão sendo utilizadas, principalmente nos Estados Unidos, para tentar reduzir os custos

do transporte e movimentação da soja, tornando a soja mais atraente e lucrativa para os produtores e investidores.

Segundo Stülp & Plá (1992), o sistema de transporte é um dos segmentos que mais interfere na eficiência dos diversos setores da economia. A melhoria nos sistemas de transporte corresponde a um maior diferencial nos preços dado que esse estágio absorve cerca de 30% dos gastos do complexo soja (SOARES & CAIXETA FILHO, 1996:3); já os demais estágios do complexo possuem limitações maiores para a redução dos custos, tendo uma menor participação na composição dos preços. Nesse sentido é necessária a otimização deste segmento para implicação de ganhos econômicos.

Os modelos de equilíbrio espacial, que utilizam ferramentas de programação quadrática, têm sido usados pela economia agrícola para simular o impacto de novas medidas sobre o setor, além das mudanças nas políticas de transportes. Usualmente, esses modelos assumem restrições de preços e quantidades, e dessa forma ignoram as inter-relações dos preços agregados e quantidades. Entretanto, as análises econômicas que reconhecem a interação preço-quantidade podem ser usadas para análise espacial e problemas de equilíbrio intertemporal (FELLIN, 1993).

Samuelson (1952) foi o primeiro a demonstrar como os problemas de equilíbrio espacial entre diferentes mercados podem ser resolvidos através de programação matemática. Ele procede com a descrição do problema de dois mercados espacialmente separados em uma economia não-normativa em um programa matemático de maximização. Samuelson formulou o problema como sendo uma área de maximização sob todas as curvas de excesso de demanda menos a área de todas as curvas de excesso de suprimento, menos o total de custos de transporte. A maximização de todas estas áreas resulta numa solução competitiva de equilíbrio espacial, isto é, baseando nas áreas resultantes da intersecção das curvas destas três variáveis.

Takayama e Judge (1971), usando um preço linear dependente e funções de demanda e oferta estendido da formulação de Samuelson, puderam chegar nas dimensões espaciais e intertemporais de preço, produção, fator de uso e consumo para que pudessem ser determinadas através de um quadro de programação quadrático. Eles desenvolveram um algoritmo capaz de solucionar as condições de equilíbrio espacial envolvendo diversas *commodities* transacionadas entre muitas regiões. Takayama e Judge também usaram este algoritmo para formular vários modelos que eram computacionalmente possíveis e aplicáveis para transições inter-regionais. O algoritmo tem sido muito usado em análise de equilíbrio espacial, entretanto, para aplicações em problemas relativamente de pequeno porte em programação quadrática. Recentemente, algoritmos mais poderosos e os avanços na capacidade computacional têm acrescentado a escala das aplicações de programação quadrática.

Para Portugal e Júdice (1996), modelos de equilíbrio espacial têm um papel importante na economia moderna. Alguns destes modelos são especializados para problemas de otimização com um grande número de variáveis, os algoritmos de Pontos Interiores, por exemplo, tornaram-se populares para a solução de alguns problemas de otimização de grande escala. Eles propuseram um algoritmo híbrido para a solução de um modelo de equilíbrio espacial de larga escala de um único produto. Este modelo pode ser indicado como um problema de complementaridade linear (LCP) com uma matriz singular simétrica semi-definida positiva (SPSD) cuja estrutura fora relacionada próxima à estrutura da rede do modelo. O esquema híbrido é uma combinação dos algoritmos Preditor-Corretor (PC) e o Pivoteamento Principal (PPP) e a sua execução examina a vantagem da estrutura da matriz do LCP. Eles relatam a experiência computacional da solução de problemas de equilíbrio espacial de grande escala com até 1000 regiões, o que mostra a grande eficiência da aproximação feita com o algoritmo híbrido.

Um outro exemplo interessante é o modelo proposto por Yang, Hwang e Shoong (2002). Eles desenvolveram condições para que o modelo de equilíbrio espacial de Takayama e Judge pudesse se ajustar ao modelo clássico de Cournot<sup>1</sup>. Neste caso, para as funções heterogêneas de demanda e custo, a formulação de programação linear complementar foi proposta para modelar o modelo espacial de Cournot. Expandiu-se o modelo de oligopólio de Cournot para mercados separados espacialmente na estrutura de um problema paramétrico da programação quadrática com mesmo custo e condições de demanda. Mostraram que quanto mais homogêneas as condições da demanda e do custo são, mais perto a solução espacial de Cournot do equilíbrio se aproxima da solução original de Cournot. O modelo foi estendido para incorporar condições heterogêneas de demanda e custo nos termos de um problema de programação linear complementar. O resultado do modelo espacial de Cournot de equilíbrio foi comparado com o modelo espacial de equilíbrio de Takayama e Judge baseado em dados idênticos, executando o modelo espacial de Cournot ao mercado de carvão dos Estados Unidos; eles encontraram que o mercado de carvão norte-americano não pode satisfatoriamente ser descrito pelo modelo de Cournot em termos de atividades da produção, do consumo e do transporte, mas pode ser melhor descrito pelo modelo de equilíbrio espacial devido à existência de numerosas companhias de serviço público e de minas de carvão.

Em outro trabalho, Dennis (1999) utilizou implicações do modelo de equilíbrio espacial proposto por Samuelson para analisar os custos de transporte para o carvão com destino às unidades geradoras de energia

---

<sup>1</sup>O Modelo de Cournot é um modelo econômico que faz parte da Teoria dos Jogos. Neste modelo as empresas tomam simultaneamente as suas decisões sobre a quantidade que produzirão, sendo que cada uma assume como fixa a produção da outra. Em equilíbrio, cada empresa estará maximizando seus lucros em função do nível de produção de seus concorrentes.



norte americana. As análises indicaram que os custos de transporte declinaram a cada ano, em maior grau nos últimos dois anos desde que as estradas de ferro foram substancialmente desregularizadas em 1980. A característica chave das análises é de que quando as mudanças em preços dentro de cada região dependem de fatores da oferta e da demanda, as mudanças na variação de preços entre regiões dependem somente das mudanças no custo de transporte.

Chen, McCarl e Chang (s/d) desenvolveram um modelo de equilíbrio espacial de competição imperfeita para estimar o comportamento dos países no mercado internacional. Tal modelo permitiu a possibilidade de um mercado de competição imperfeita sem nenhuma pressuposição da estrutura do marketing. O modelo permite que um procedimento seja usado para resolução da estrutura de marketing através de um grande número de países. O procedimento foi aplicado aos mercados internacionais do arroz. A maioria dos países foi incluído por se comportarem como concorrentes imperfeitos no mercado internacional de arroz. Os resultados empíricos refletiram a existência de um determinado grau de intervenção do governo tanto nos países exportadores quanto nos importadores.

Utilizando-se da idéia de produtos intermediários, Waquil e Cox (1995) desenvolveram uma formulação de um modelo de equilíbrio espacial. Para eles a presença de produtos intermediários traz uma melhor representação do mundo real, dando conta das relações tecnológicas entre os diversos estágios de produção de cada *commodity*. Ao invés da suposição usual de custos constantes supõe-se funções de custo com inclinação positiva, que reflete os custos marginais crescentes. O modelo é implementado e validado para a análise da otimização da alocação e do preço dos produtos animais, dos grãos e das oleaginosas no MERCOSUL. A presença de produtos intermediários é importante para esclarecer os relacionamentos tecnológicos entre produtos em diversos estágios da produção. O modelo desenvolvido pode ser estendido a outros setores e a outras regiões, ou pode ser

executado para simular diferentes cenários da política econômica, verificando os efeitos possíveis na alocação e nos preços em relação ao bem-estar agregado nos países de MERCOSUL. Serve, então, como um instrumento para o processo de tomada de decisão. Neste aspecto, tem crescido o interesse em construir uma estrutura para analisar as implicações da integração econômica e o estabelecimento da Área de Livre Comércio das Américas (ALCA) até o ano de 2005. Portanto, o estudo proposto por Waquil e Cox (1995), dá subsídios para o entendimento mais detalhado das relações econômicas e dos respectivos laços regionais na comercialização agrícola do MERCOSUL.

Já o trabalho desenvolvido por Melquiades e Luna (1998), está envolvido com estratégias computacionais relacionadas com a análise quantitativa de somente um setor da economia global (agricultura). Para os autores, sob certas condições no ambiente do setor e dentro do contexto hipotético da teoria econômica neoclássica, é bem conhecido um tipo de modelo econômico parcial que pode ser matematicamente incluído numa estrutura de otimização. Assim, intentaram uma especificação típica que leva em consideração mercados espacialmente separados, chamado modelo de equilíbrio econômico espacial e que tem uma série de problemas de transporte clássicos (um para cada bem). O modelo é compatível para a decomposição por programação matemática, resultando em subsistemas regionais cujas variáveis de acoplamento são os fluxos de transporte. Deste modo exploram esta estrutura explicando um algoritmo de grande porte através da técnica de direções viáveis com interpretação econômica.

Para o mercado de oleaginosas nigeriano, Omoregie e Thomson (2001) utilizaram um modelo de equilíbrio espacial para determinar a localização e o número ótimo de fábricas processadoras de oleaginosas de acordo com as regiões produtoras, e estabeleceram uma competitividade regional auxiliando o planejamento e o desenvolvimento do sub-setor das oleaginosas. No modelo, as atividades da produção (cultivo e moagem) foram relacionadas às

terras agricultáveis e às restrições da capacidade de moagem. Os *shadow prices* das terras agricultáveis e as capacidades de moagem foram usados como uma medida de competitividade das regiões envolvidas.

O modelo de equilíbrio de mercado para o sistema de gás natural norte-americano desenvolvido por Gabriel, Manik e Vikas (2001), é baseado na noção de maximização total dos excedentes transportados resultando em um programa não linear de grande escala. O modelo é baseado na formulação das curvas de oferta ascendentes utilizando-se de um banco de dados de cerca de 17 mil reservatórios de gás natural. Para eles este cenário indica um bom grau de realismo na simulação do efeito da tecnologia, forças de mercado e considerações políticas do ponto de vista da oferta de mercado, ao mesmo tempo em que faz transformações computacionais que suprem a falta de curvas de oferta adequadas. Uma estratégia de programação linear sucessiva foi empregada para solucionar o problema Não-linear geral. Para os resultados numéricos, eles descrevem várias experiências levando em conta esquemas de aceleração da convergência geral baseada na suavização iterativa (similar a estratégia Gauss-Seidel), assim como testes de precisão de agregação espacial e temporal ótima.

A proposta deste trabalho é otimizar a distribuição logística da soja brasileira aplicando-se um modelo de equilíbrio espacial de programação quadrática. O sistema de transporte da soja é um ponto importante na cadeia produtiva, pois a maior parte dos custos desta *commodity* é dado pelos custos de transporte. Nesse sentido, a otimização desse segmento é essencial para aumentar a competitividade da soja brasileira no mercado internacional.

No capítulo 1 será realizada a caracterização geral sobre os sistemas de transporte, com destaque aos principais corredores viários.

No capítulo 2 teremos a introdução ao modelo e aos dados que o compuseram.

No capítulo 3 serão apresentados os resultados e discussões, tratando da verificação, das estatísticas de validação e da simulação de novos cenários.

Enfim, no capítulo 4 as principais conclusões obtidas com a aplicação do modelo de equilíbrio espacial para o transporte da soja brasileira são apresentadas.

## 1. SISTEMA DE TRANSPORTE

De acordo com Stülp & Plá (1992), um dos segmentos que mais interfere na eficiência dos diversos setores da economia de um país é o segmento de transporte. No caso brasileiro, em que a maior parte do transporte é feita por rodovias, essa fase da comercialização acaba onerando por demais o bem movimentado. No processo de comercialização, o trajeto percorrido pela soja é basicamente, da área de produção ao armazém e, desses, para fábrica ou porto, ou ainda diretamente da área de produção para a fábrica ou porto (Soares et al.,1997). Os produtos derivados do processamento da soja (farelo e óleo) têm como destino o mercado interno ou externo.

Conforme Wright (1980), o aproveitamento do potencial de expansão da produção de grãos depende do estabelecimento de um sistema eficiente de transporte. Tal sistema terá de comportar volumes maiores a custos menores, permitindo assim que o setor de grãos aumente a sua contribuição no abastecimento interno de alimentos e mantenha sua posição no mercado internacional. Nesse sentido, Lício (1995) ressalta que com a viabilização e integração dos corredores de transportes multimodais (rodovia, ferrovia, hidrovía) aumenta a competitividade dos produtos, integrando as áreas de produção, centros consumidores e o mercado internacional.

O transporte da soja nas diferentes etapas pode ser realizado por diferentes modais de transporte: rodoviário, ferroviário e hidroviário. A Tabela 1 mostra o percentual dos modais de transporte que participam da

movimentação de cargas, entre elas a soja, em alguns países, verificando-se a predominância do modal rodoviário, com exceção dos Estados Unidos e da China e Holanda.

**Tabela 1 Matriz de Transporte de Cargas, em Toneladas-Quilômetro, em Países Selecionados\* (1999)**

Países	Rodovia (%)	Ferrovia (%)	Hidrovia (%)
Estados Unidos	33,53	43,90	22,57
China	13,37	36,65	49,98
Brasil	65,50	20,62	13,88
Alemanha	62,93	19,71	17,36
Japão	54,61	4,17	41,23
França	74,10	22,38	3,52
Inglaterra	68,09	7,97	23,95
Itália	89,49	10,46	0,05
México	74,33	16,44	9,24
Polônia	55,51	43,71	0,77
Holanda	39,83	4,65	55,53
Suécia	57,90	27,60	14,50

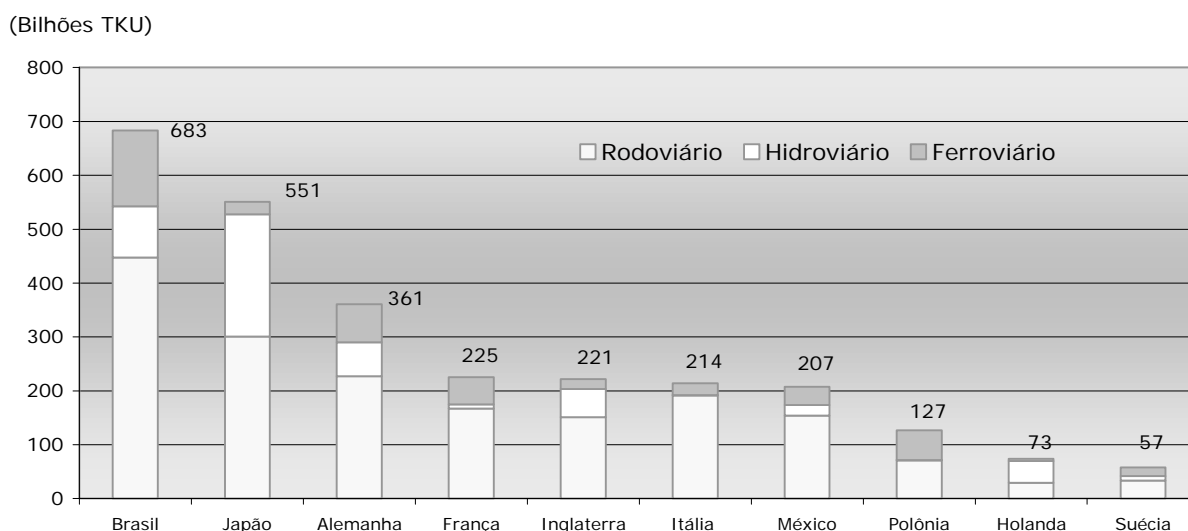
Fonte: GEIPOT (Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes)

\*Não estão incluídos os volumes transportados pelo modal aeroviário e dutoviário.

A distribuição do transporte de carga pelos diferentes modais é decorrência da geografia de cada país e também dos incentivos governamentais no setor. A participação dos modais rodoviário, ferroviário e hidroviário no transporte de cargas brasileiro é substancialmente diferente daquela encontrada em outros países de dimensões continentais similares (Confederação Nacional do Transporte – CNT).

No gráfico 3 e 4 mostramos o volume total transportado, em tonelada-quilômetro<sup>2</sup> (TKU), em alguns países selecionados com relação ao volume transportado pelo Brasil em 1999, assim como também a distribuição nos diferentes modais de transporte.

**Gráfico 3 Transporte de Carga em Países Selecionados (1999)**

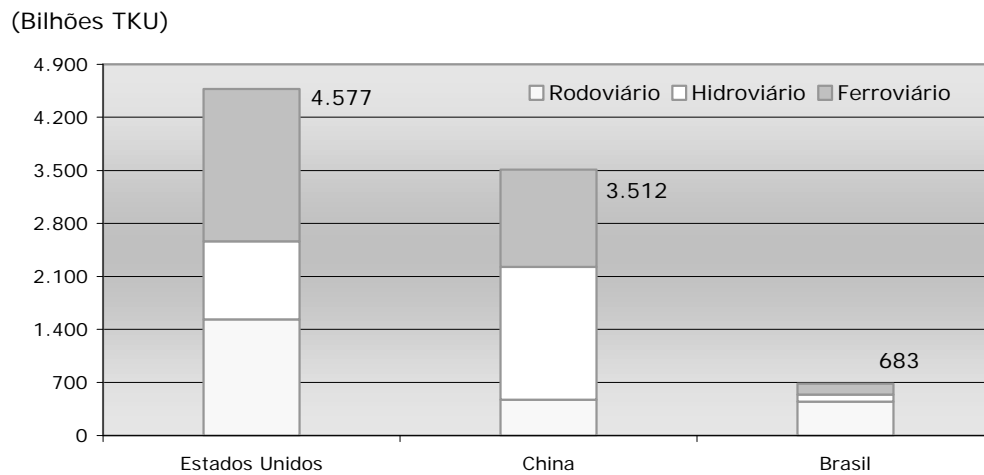


Fonte: GEIPOT, 2001.

Em geral Países com pequena extensão territorial vocacionam o seu transporte no modal rodoviário, enquanto que países com grandes extensões, com exceção do Brasil, priorizam o transporte para os modais ferroviário e hidroviário, dado que estes modais possuem uma maior eficiência e competitividade no transporte de longas distâncias (American Trucking Association – ATA).

<sup>2</sup> No Setor de Transportes TKU (toneladas-quilômetro) é um parâmetro de medida de esforço/produção de transporte, conhecido também com "momento de transporte". Esta medida é obtida através do volume transportado (ton) x a distância percorrida (km).

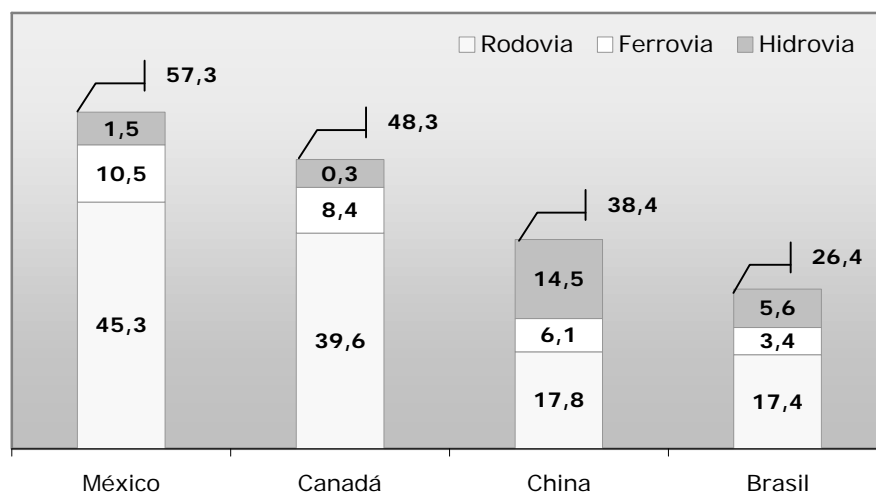
**Gráfico 4 Transporte de Carga nos EUA, China e Brasil (1999)**



Fonte: GEIPOT, 2001.

A infra-estrutura de transporte disponível no Brasil é significativamente menor do que aquela existente em diversos países em desenvolvimento e de grandes extensões territoriais. No gráfico 5 apresentamos a densidade de transporte por modal, este índice é calculado a partir do número de quilômetros de infra-estrutura disponível por cada km<sup>2</sup> de área do País. No gráfico 5, a densidade é calculada para cada 1000 km<sup>2</sup> de área do País.

**Gráfico 5 Densidade de Infra-estrutura de Transporte (km/1000 km<sup>2</sup>)**



Fonte: CNT (Confederação Nacional do Transporte).



No período compreendido entre 1994 e 2000 a modalidade de transporte rodoviário tem absorvido mais da metade dos transportes de cargas no Brasil, sendo em 2000 responsável por 60,49% contra 20,86% do transporte ferroviário e 13,86% do transporte hidroviário. Conforme Caixeta Filho (1996:04), “essa predominância do modo rodoviário pode ser explicada pelas dificuldades que outras categorias de transporte enfrentam para atender eficientemente aos aumentos de demanda em áreas mais afastadas do País, as quais não são servidas por ferrovias ou hidrovias”.

A Tabela 2 mostra a participação dos diferentes modais de transporte na movimentação de cargas e a evolução dessa participação entre os anos 1996 a 1999, de onde se observa um ligeiro aumento na utilização de outros modais de transporte alternativos, mas sempre com uma predominância do modal rodoviário.

**Tabela 2 Matriz de Transporte de Carga no Brasil (%)**

<b>Modais</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>
Hidroviário	11,5	11,6	12,7	13,2	13,9
Ferrovário	20,7	20,7	20,0	19,6	20,9
Rodoviário	63,7	62,9	62,5	62,3	60,4
Outros	4,1	4,8	4,8	4,9	4,8

Fonte: GEIPOT, 2001.

A Tabela 3 apresenta custos de fretes nos diferentes modais de transporte entre alguns pólos produtores de soja com destino aos portos de escoamento e deste até o porto de Rotterdam para o ano de 2000. Pode verificar-se que, com a utilização da combinação do modal hidroviário e rodoviário, tem-se uma significativa redução nos custos com frete, sendo o modal rodoviário aquele que apresenta os maiores custos.

**Tabela 3 Comparação de custos de transporte de soja em diferentes pólos produtores (US\$/tonelada)**

Discriminação	Pólos Produtores				
	Diamantino – MT	Cascavel - PR	Balsa - MA	Sul do Pará	Sul do Pará
Origem					
Destino*	Santos - SP	Paranaguá - PR	Ponta da Madeira - MA	Ponta da Madeira - MA	Vila do Conde - PA
Distância (km)	2.015	600	1.000	930	943
Frete rodoviário	42.0	15.0	10.4	6.2	4.0
Frete ferroviário	-	-	8.2	9.5	-
Frete fluvial	-	-	-	-	3.3
Despesa portuária	11.0	8.0	4.4	4.4	4.7
<b>Subtotal</b>	<b>53.0</b>	<b>23.0</b>	<b>23.0</b>	<b>20.1</b>	<b>12.0</b>
Frete marítimo Rotterdam	17.0	17.0	14.0	14.0	14.2
<b>Total</b>	<b>70.0</b>	<b>40.0</b>	<b>37.0</b>	<b>34.1</b>	<b>26.2</b>

Fonte: CVRD (Companhia Vale do Rio Doce, 2002); \*Portos Marítimos.

Conforme Lieb (1978), as diferentes características entre os modais, como custos e outros aspectos qualitativos, pode ser economicamente desejável que entre a origem e o destino de um determinado produto sejam utilizados mais que uma modalidade de transporte, utilizando as vantagens inerentes a cada uma delas, o que resulta num serviço de menor custo e/ou de melhor qualidade. A complementação entre as modalidades de transporte envolvidas num sistema intermodal implicará atividades de transbordo, isto é, recursos humanos e equipamentos para transferir as mercadorias de um meio de transporte para outro.

Assim a intermodalidade, além de nortear os investimentos no setor dos transportes, contribui para redução dos custos, uma vez que os custos com transporte ferroviário e hidroviário são menores que os custos rodoviários, ocorrendo uma tendência de se substituir o transporte rodoviário de longa distância por transportes alternativos que deve implicar no aumento da competitividade da soja no mercado internacional de grãos, assim como também a sua participação nas exportações mundiais.

Enquanto isso, o transporte da soja esbarra na estrutura apresentada pelas estradas do País, gerando perdas do produto e também, devido ao desgaste sofrido pelo caminhão, um aumento do preço do frete. Segundo

Puzzi (1986), no Brasil um dos componentes que mais pesam no custo final dos grãos é o frete, devido à falta de hidrovias, à insuficiência de ferrovias e à precariedade de estradas pavimentadas.

### 1.1. Caracterização dos Modais de Transporte

Os cinco modais de transporte básicos são: ferroviário, rodoviário, aquaviário, dutoviário e aéreo. Cada um deles possui custos e características operacionais próprias, que os tornam mais adequados para determinados tipos de operações e produtos. Os critérios para escolha de modais devem levar em consideração por um lado aspectos de custos, e características de serviços por outro. São cinco as dimensões mais importantes, no que diz respeito às características dos serviços oferecidos: velocidade, consistência, capacitação, disponibilidade, e frequência (NAZÁRIO *et al*, 2000). A figura 1 classifica essas características.

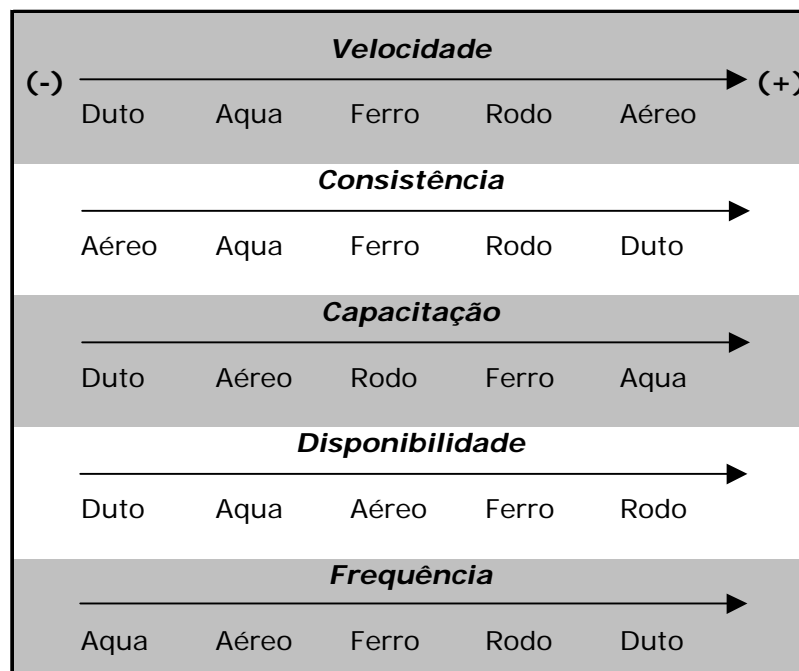


Figura 1 Comparação das Principais Serviços por Modal de Transporte

A velocidade refere-se ao tempo decorrido de movimentação em uma dada rota, também conhecido como *transit time*, sendo o modal aéreo o mais rápido de todos. No entanto, considerando que a velocidade deve levar em consideração o tempo gasto no embarque e desembarque, esta vantagem do aéreo só ocorre para distâncias médias e grandes, devido aos tempos de coleta e entrega que precisam ser computados (NAZÁRIO *et al*, 2000).

A consistência, que representa a capacidade de cumprir os tempos previstos, tem o duto como a melhor opção. Por não ser afetado pelas condições climáticas ou de congestionamentos, o duto apresenta uma alta consistência, já o baixo desempenho do aéreo é resultante de sua grande sensibilidade a questões climáticas e sua elevada preocupação com questões de segurança (FLEURY, 2002).

A dimensão capacitação está relacionada à possibilidade de um determinado modal trabalhar com diferentes volumes e variedades de produtos. Nesta dimensão, o destaque de desempenho é o modal aquaviário, que praticamente não tem limitações sobre o tipo de produto que pode transportar, assim como do volume (*ib idem*).

De acordo com Fleury (2002), a dimensão disponibilidade se refere ao número de localidades onde o modal se encontra presente. Aqui, aparece a grande vantagem do rodoviário, que quase não tem limites de onde pode chegar. Teoricamente, o segundo em disponibilidade é o ferroviário, mas isto depende da extensão da malha ferroviária em um determinado país.

Quanto à frequência, ou seja, o número de vezes em que o modal pode ser utilizado em um dado horizonte de tempo (número de viagens), o duto é o que apresenta o melhor desempenho. Por trabalhar 24 horas por dia, o duto pode ser acionado a qualquer momento, desde que esteja disponível no local desejado (*ib idem*).

### 1.1.1. Sistema Rodoviário

De acordo com os dados do Ministério dos Transportes (2003), o Brasil conta com 1,72 milhões de quilômetros de rodovias federais, estaduais e municipais e, desse total, cerca de 10% são pavimentadas. A caracterização das principais rodovias que escoam a safra de grãos nas diferentes regiões brasileiras pode ser:

- Sul e Sudeste: nestas regiões estão localizadas as áreas tradicionais de produção de grãos, as rodovias nestas regiões já estão implantadas, interligando os diversos centros produtores as plantas industriais e aos portos de exportação. No Paraná temos a BR-376 e BR-277 que ligam os centros produtores aos consumidores e ao Porto de Paranaguá (PR), já no Rio Grande do Sul temos a BR-386 e BR-153 até o Porto de Rio Grande (RS). Na região Sudeste temos diversas rodovias, entre elas, a BR-050 que liga o Triângulo Mineiro a São Paulo. Com as privatizações ocorridas neste setor os investimentos estão sendo dirigidos em melhorias das rodovias já implantadas, já nas regiões em expansão os investimentos se orientam principalmente para a ampliação e pavimentação das estradas existentes.
- Centro-Oeste: as principais rodovias do Centro-Oeste são BR-163 e BR-364. A primeira liga as áreas produtoras do Mato Grosso ao porto de Paranaguá (PR). Já a BR-364 interliga o Mato Grosso e Mato Grosso do Sul a Rondônia e também ao Porto de Santos (SP). Como parte de reorientação do escoamento da produção regional foram concluídos recentemente o prolongamento e a pavimentação das rodovias BR-070 e BR-174 no sentido de Cuiabá (MT) e a Porto Velho (RO).
- Nordeste: a produção do estado da Bahia pode ser escoada pelas rodovias de ligação BR-430 e BR-415, que se interligam com rodovias federais até o Porto de Ilhéus (BA) e a BR-135 até o Porto de Itaqui (MA). No Piauí e Maranhão, utiliza-se rodovia BR-230 até o Estreito (MA), onde há uma

ligação com a ferrovia Norte-Sul, que se liga à estrada de Ferro Carajás de onde segue para o porto de Itaqui em São Luís (MA).

- Norte: uma das principais regiões produtoras é Rondônia e sua principal rodovia é a BR-364 que a interliga até o Porto Velho. Ainda em fase experimental, a produção do estado de Roraima é escoada até Manaus pela BR-174.

Projeta-se a pavimentação da BR-163 até o Pará. Este projeto possibilitará escoar a produção do Centro-Oeste pelo Rio Amazonas rumo aos principais mercados com ganhos significativos.

### 1.1.2. Sistema Ferroviário

O Brasil tem aproximadamente 28.000 km de malha férrea, as ferrovias nos últimos anos vêm aumentando a sua participação no transporte de carga e grãos, as principais concessionárias que controlam as malhas ferroviárias têm estabelecido planos diferenciados para a redução do tempo de deslocamento (*transit-time*) da carga transportada. As principais ferrovias utilizadas no transporte de soja são:

- América Latina Logística: atua na região Sul do Brasil e uma das principais rotas praticadas é no escoamento da safra de soja do norte do estado do Paraná ao Porto de Paranaguá, mas também capta soja proveniente da região Centro-Sul utilizando o transporte rodo-ferroviário. Em 2000 o movimento de soja ficou em torno de 8,5 milhões de toneladas (Ministério dos Transportes, 2003).
- Ferrovia Centro - Atlântica e Estrada de Ferro Vitória – Minas: de propriedade da Companhia Vale do Rio Doce, atuam nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Goiás. Em 2000 as duas ferrovias movimentaram cerca de 2,43 milhões de toneladas de soja (Ministério dos Transportes, 2003).

- Brasil Ferrovias: empresa composta por três ferrovias, Ferronorte que interliga o Mato Grosso ao Porto de Santos, Novoeste que interliga o Mato Grosso do Sul ao Porto de Santos e a Ferroban que atua no estado de São Paulo. Esta união de ferrovias também exerce influência nos estados vizinhos como Goiás e Minas Gerais. De acordo com o Ministério dos Transportes, o volume de soja transportado em 2000 ficou em torno de 4,5 milhões de toneladas.
- Ferrovia Norte – Sul e Estrada de Ferro Carajás: atua nos estados de Tocantins, Pará, Maranhão e Piauí. O volume em 2000 ficou em torno de 500 mil toneladas. Destaca-se o projeto de ampliação da Norte – Sul, que ligará Goiânia (GO) a Belém (PA), impulsionando assim a hidrovia Araguaia Tocantins que interliga as regiões produtoras com a ferrovia.

### *1.1.3. Sistema Hidroviário*

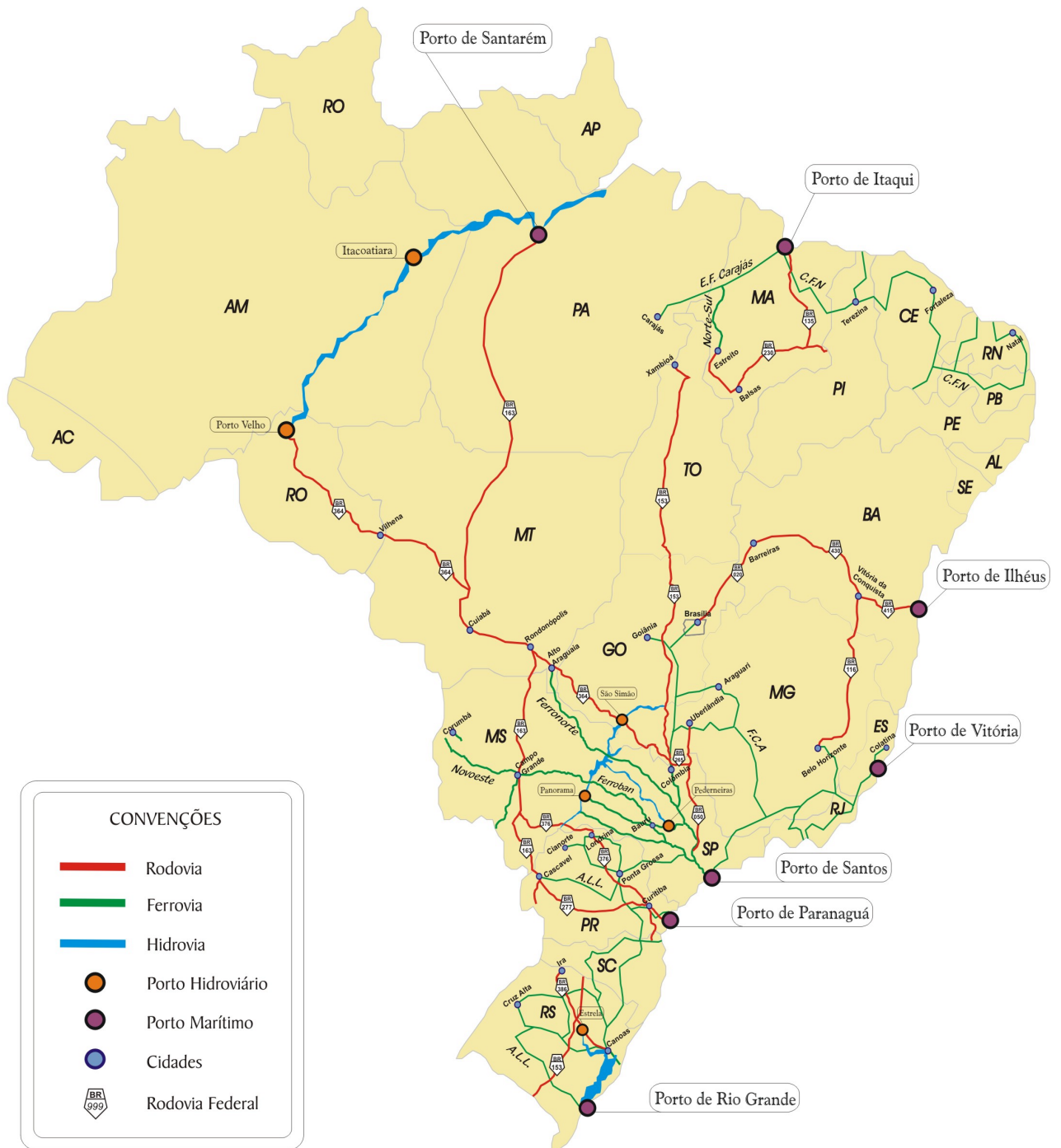
- Hidrovia do Madeira: está localizado na região norte do país sendo utilizada principalmente para o transporte de grãos proveniente dos estados de Rondônia e Mato Grosso, que chegam por rodovia no terminal hidroviário de Porto Velho (RO) e segue pela hidrovia até o terminal de Itacoatiara (AM) e daí navega pelo Amazonas rumo ao oceano. No ano de 2000 transportou 959 mil toneladas (Ministério dos Transportes, 2003).
- Hidrovia Tietê – Paraná: O volume transportado em 2000 foi de 939 mil toneladas, sendo 60% com destino ao trecho do Tietê e 40% dirigidos a bacia do Prata na Argentina. Esta hidrovia é utilizada para o transporte de grãos da região Centro – Oeste, principalmente o estado de Goiás, com destino ao terminal hidroviário de Pederneiras (SP) e Panorama (SP), seguindo destes terminais até o Porto de Santos.
- Hidrovia Jacuí – Lagoa dos Patos: está localizada no estado do Rio Grande do Sul e interliga os centros produtores até o Terminal Hidroviário de Porto Estrela (RS) ao Porto de Rio Grande pela Lagoa dos Patos. No ano

de 2000 o Terminal de Porto Estrela movimentou 650 mil toneladas (Ministério dos Transportes, 2003).

- Hidrovia Tocantins – Araguaia: A Diretoria de Infra-Estrutura Aquaviária ligada ao Ministério dos Transportes, vem adotando medidas de implantação desta hidrovia que hoje se encontra embargada pela justiça federal. Ela foi planejada para o transporte da região Centro–Oeste para o Porto de Belém (PA) ou ligando a região até o terminal hidroviário Porto Franco (MA) e seguindo por ferrovia até o Porto de de Itaquí (MA).

A figura 2 ilustra recortes da malha viária dos modais de transporte utilizados para o escoamento da soja brasileira e os principais portos envolvidos na movimentação da soja com destino ao mercado interno e externo.





**Figura 2 Malha Viária e Principais Portos Utilizados para o escoamento da Soja Brasileira**

## 2. METODOLOGIA

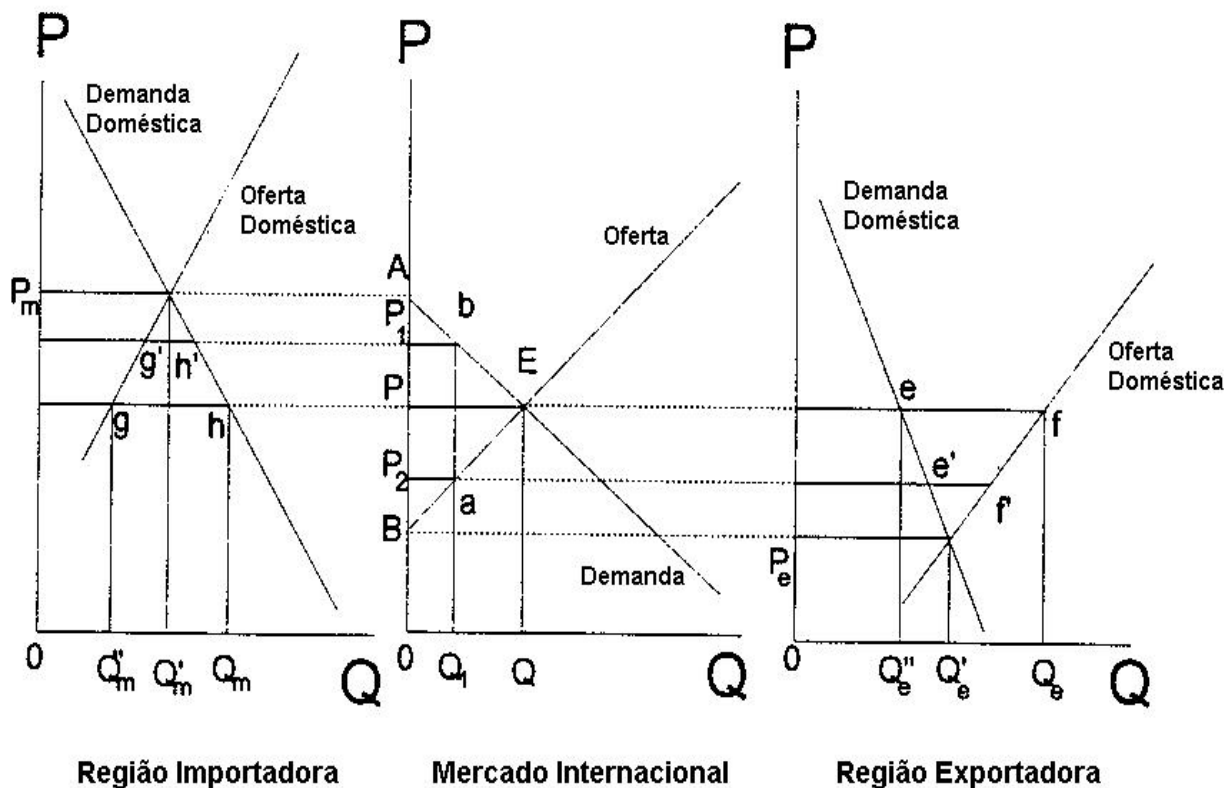
### 2.1. Modelos de Equilíbrio Espacial

O uso da programação não linear é comum em modelos econômicos que envolvem preços endógenos. Em modelos lineares, assume-se que os preços ou quantidades de entrada e saída são fixos e exógenos. Quando esta suposição não pode ser adotada, são usados modelos de preço endógeno. Tais modelos, em geral, envolvem ainda problemas de equilíbrio espacial sendo estes uma extensão dos problemas de transporte onde é relaxada a suposição de oferta e demanda fixas (McCARL and SPREEN, 2001).

Produção e/ou consumo usualmente ocorrem em regiões separadas espacialmente, cada uma delas possui uma relação de oferta e demanda. Se os preços entre as regiões forem dados em maior grau pelos custos de transporte inter-regionais, a comercialização ocorrerá e será direcionada por tais custos. Modelando esta situação coloca-se pelos menos algumas questões a serem respondidas, entre elas, quem irá produzir e consumir, em que quantidades e em que níveis a comercialização se dará (*ib idem*).

As condições de equilíbrio espacial para *commodities* com custos de transporte ligados às regiões de exportação e importação podem ser vistas na Figura 3, onde P corresponde ao preço e Q a quantidade. A quantidade da *commodity* negociada é igual ao excesso de oferta (ef) na região de exportação, enquanto a quantidade importada é igual ao excesso de demanda (gh) no preço de equilíbrio, assumindo que o custo de transporte é

igual a zero entre as duas regiões. Com a existência de tarifas e custos de transporte medidos pela distância vertical entre as curvas de importação demandada e a exportação ofertada ( $ab$ ), a diferença do preço entre as regiões de importação e exportação é igual às tarifas e custos de transporte. Estes custos e tarifas são compartilhados pelas regiões de exportação e importação, de acordo com as respectivas elasticidades de cada região.



**Figura 3 Equilíbrio Internacional de Comercialização entre duas Regiões**

Fonte: Fellin, 1993:38.

Na Figura 3 as tarifas e custos de transporte ( $ab$ ) aumentam o preço na região importadora de  $P$  para  $P_1$ , assim o aumento do preço pago pela região importadora resulta em um decréscimo na quantidade comercializada de  $Q$  para  $Q_1$ . A proporção do diferencial do preço pago pelos produtores das regiões exportadoras ( $P_2$ ) e a incorporação para os consumidores na

importação (P1) podem ser calculados com a função das elasticidades de oferta e demanda.

A estrutura teórica deste modelo pode ser expandida, incluindo regiões multi-exportadoras e importadoras, transporte multimodal e multi-*commodity*. Os problemas de equilíbrio espacial são expressos matematicamente, através da maximização das áreas sob as curvas de demanda menos as áreas sob as curvas de oferta e menos os custos de transporte.

Os modelos de equilíbrio espacial estendem os problemas de transporte, ao invés de se fixar níveis de demanda e de oferta, essas funções são dependentes do preço. Por exemplo,  $i$  regiões de comércio substituem duas regiões descritas na Figura 3, fazendo com que a demanda na região  $i$  seja dada por:

$$p_i = d_i(y_i), \quad (3.1.1)$$

onde,

$p_i$  = preço de demanda na região  $i$ ,

$y_i$  = quantidade demandada com preço  $p_i$  na região  $i$ .

A função de oferta para região é definida por:

$$p^i = s_i(z_i), \quad (3.1.2)$$

onde,

$p^i$  = preço de oferta na região  $i$ ,

$z_i$  = quantidade ofertada com preço  $p^i$  na região  $i$ .

Assumindo que a função de demanda para qualquer região  $i$  é contínua, diferenciável e a inclinação da curva é descendente (3.1.3) e que a função de oferta para qualquer região  $i$  é contínua, diferenciável e a inclinação da curva é ascendente (3.1.4), temos que:

$$\partial(d_i(y_i))/\partial y_i \leq 0 \quad (3.1.3)$$

e

$$\partial(s_i(z_i))/\partial z_i \geq 0 \quad (3.1.4)$$

A função lucro é definida como a área entre as curvas de demanda e de oferta.

A função lucro individual pode ser expressa matematicamente por:

$$\begin{aligned} W_i &\equiv (y_i, z_i) \equiv \int_0^{y_i} p_i d\mathbf{h}_i - \int_0^{z_i} p^i d\mathbf{x}_i \\ &= \int_0^{y_i} d_i(\mathbf{h}_i) d\mathbf{h}_i - \int_0^{z_i} s_i(\mathbf{x}_i) d\mathbf{x}_i, \text{ para todo } i \end{aligned} \quad (3.1.5)$$

Esta função lucro possui as seguintes propriedades:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial W_i}{\partial y_i} &= d_i(y_i) = p_i \\ \frac{\partial W_i}{\partial z_i} &= -s_i(z_i) = -p^i \\ \text{para todo } i, \end{aligned} \right\} \quad (3.1.6)$$

*i.e.* as derivadas parciais são preço de demanda e preço de oferta negativo. Dado que (3.1.3) e (3.1.4), temos:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 W_i}{\partial y_i^2} &= \frac{d(d_i(y_i))}{dy_i} < 0, \\ \frac{\partial^2 W_i}{\partial z_i^2} &= -\frac{d(s_i(z_i))}{dz_i} < 0, \\ \text{para todo } i \end{aligned} \right\} \quad (3.1.7)$$

o qual implica que a função lucro  $W_i$  é estritamente côncava com relação a  $y_i$  e  $z_i$ . Deste modo a função lucro total é:

$$W \equiv \sum_{i=1}^n W_i(y_i, z_i). \quad (3.1.8)$$

Se  $x_{ij}$  representa o total de movimentações aceitáveis de  $i$  para  $j$  com um custo de transporte  $t_{ij}$ , então a expressão para o lucro líquido pode ser descrita como:

$$NW = W - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij}. \quad (3.1.9)$$

O custo de transporte total também pode ser definido como:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} \equiv T' X$$

onde, (3.1.10)

$$T = (t_{11}, \dots, t_{1n}, \dots, t_{n1}, \dots, t_{nn})',$$

$$X = (x_{11}, \dots, x_{1n}, \dots, x_{n1}, \dots, x_{nn})'$$

Para que o chamado equilíbrio espacial seja observado, requer-se que as restrições de balanço de demanda e oferta sejam satisfeitas, onde:

$$y_i \leq \sum_{j=1}^n x_{ji} \text{ para todo } i$$

ou (3.1.11)

$$(G_y - I) \begin{pmatrix} X \\ y \end{pmatrix} \geq 0$$

$$z_i \geq \sum_{j=1}^n x_{ij} \text{ para todo } i$$

ou (3.1.12)

$$(-G_y + I) \begin{pmatrix} X \\ z \end{pmatrix} \geq 0$$

O modelo matemático que determina o nível de produção e consumo, o preço de comercialização em cada região e a quantidade comercializada entre as regiões pode então ser representada por:

$$\begin{aligned} \text{Max } NW &= \sum_{i=1}^n W_i(y_i, z_i) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij}, \\ \text{s.a} \\ y_i &\leq \sum_{j=1}^n x_{ji} \text{ para todo } i, \\ z_i &\geq \sum_{j=1}^n x_{ij} \text{ para todo } i, \\ y_i, z_i, x_{ij} &\geq 0 \text{ para todo } i \text{ e } j. \end{aligned} \tag{3.1.13}$$

Quando as funções de oferta e demanda são lineares, *i.e.*,

$$\begin{aligned} p_i &= \mathbf{l}_i - \mathbf{w}_i y_i, \\ p^i &= \mathbf{n}_i + \mathbf{J}_i z_i. \end{aligned} \tag{3.1.14}$$

onde na forma matricial temos:

$$P_y \equiv \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{l}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{l}_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{w}_1 & & \\ & \ddots & \\ & & \mathbf{w}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \tag{3.1.15}$$

assim,

$$P_y = \mathbf{l} - \Omega y.$$

Do mesmo modo temos:

$$P_z = \mathbf{n} + \mathbf{H}z.$$

Então o problema será encontrar  $(\bar{y}, \bar{z}, \bar{X})$  para:





$$\begin{aligned}
(a) \quad \frac{\partial \ell}{\partial \mathbf{y}} &= \mathbf{I} - \Omega \bar{\mathbf{y}} - \bar{\mathbf{m}}_y \leq 0 & \text{e} \quad \left( \frac{\partial \ell}{\partial \mathbf{y}} \right)' \bar{\mathbf{y}} &= 0, \\
(b) \quad \frac{\partial \ell}{\partial \mathbf{z}} &= -\left( \mathbf{n} + \mathbf{H} \bar{\mathbf{z}} \right) + \bar{\mathbf{m}}_z \leq 0 & \text{e} \quad \left( \frac{\partial \ell}{\partial \mathbf{z}} \right)' \bar{\mathbf{z}} &= 0, \\
(c) \quad \frac{\partial \ell}{\partial \mathbf{X}} &= \mathbf{G}' \bar{\mathbf{m}} - \mathbf{T} \leq 0 & \text{e} \quad \left( \frac{\partial \ell}{\partial \mathbf{X}} \right)' \bar{\mathbf{X}} &= 0, \\
(d) \quad \frac{\partial \ell}{\partial \mathbf{m}} &= \mathbf{G} \bar{\mathbf{X}} - \begin{pmatrix} \bar{\mathbf{y}} \\ -\bar{\mathbf{x}} \end{pmatrix} \geq 0 & \text{e} \quad \left( \frac{\partial \ell}{\partial \mathbf{m}} \right)' \bar{\mathbf{m}} &= 0.
\end{aligned} \tag{3.1.19}$$

Do mesmo modo temos:

$$\begin{aligned}
(a) \quad \frac{\partial \ell}{\partial y_i} &= \mathbf{I}_i - \mathbf{w}_i \bar{y}_i - \bar{\mathbf{m}}_i \leq 0 & \text{e} \quad \left( \frac{\partial \ell}{\partial y_i} \right)' \bar{y}_i &= 0, \quad \text{p/todo } i, \\
(b) \quad \frac{\partial \ell}{\partial z_i} &= -\left( \mathbf{n}_i + \mathbf{J}_i \bar{z}_i \right) + \bar{\mathbf{m}}_i \leq 0 & \text{e} \quad \left( \frac{\partial \ell}{\partial z_i} \right)' \bar{z}_i &= 0, \quad \text{p/todo } i, \\
(c) \quad \frac{\partial \ell}{\partial x_{ij}} &= \bar{\mathbf{m}}_j - \bar{\mathbf{m}}^i - t_{ij} \leq 0 & \text{e} \quad \left( \frac{\partial \ell}{\partial x_{ij}} \right)' \bar{x}_{ij} &= 0, \quad \text{p/todo } i \text{ e } j, \\
(d1) \quad \frac{\partial \ell}{\partial \mathbf{m}_i} &= \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ji} - \bar{y}_i \geq 0 & \text{e} \quad \left( \frac{\partial \ell}{\partial \mathbf{m}_i} \right)' \bar{\mathbf{m}}_i &= 0, \quad \text{p/todo } i, \\
(d2) \quad \frac{\partial \ell}{\partial \mathbf{m}^i} &= -\sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} - \bar{z}_i \geq 0 & \text{e} \quad \left( \frac{\partial \ell}{\partial \mathbf{m}^i} \right)' \bar{\mathbf{m}}^i &= 0, \quad \text{p/todo } i.
\end{aligned} \tag{3.1.20}$$

Assumindo-se que o problema é regular e que  $\bar{y}_i, \bar{z}_i > 0$ , então:

$$p_i = \mathbf{m}_i \quad \text{e} \quad p^i = \mathbf{m}^i \quad \text{p/todo } i. \tag{3.1.21}$$

Deste modo, temos que (3.1.21) são gerados a partir das quantidades ótimas de demanda  $y$  (3.1.1) e oferta  $z$  (3.1.2). Assim as condições de otimalidade são satisfeitas (3.1.20). A condição (3.1.20d) corresponde as

condições de equilíbrio do mercado e a condição (3.1.20c) corresponde as condições de equilíbrio de preço local. Assim a solução para este problema é o nível de produção ( $z_i$ ), o nível de consumo ( $y_i$ ) e o nível de importação e exportação ( $x_{ij}$ ) em cada região.

## 2.2. O Modelo

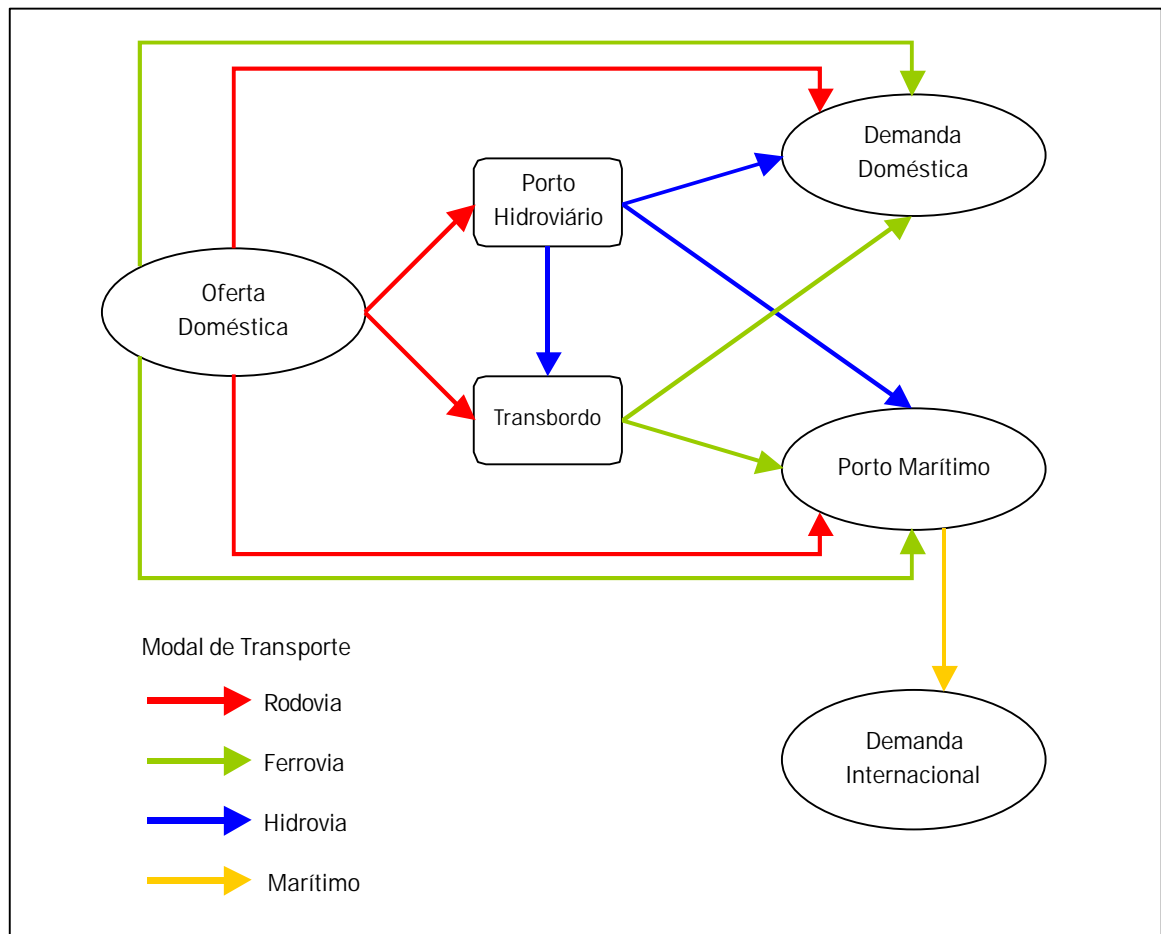
O processamento das informações para o modelo de equilíbrio espacial desenvolvido para a movimentação de soja no Brasil foi feito utilizando-se o software General Algebraic Modeling System - GAMS (Brooke et al., 1992) e a programação matemática adotada foi a não-linear (função objetivo não-linear e restrições lineares) O solver utilizado neste caso (MINOS) é uma junção do método do Gradiente reduzido com o método quasi-Newton (Murtagh e Saunders, 1983).

O modelo de equilíbrio espacial inclui dimensões espaciais e temporais que permitem a movimentação da soja das regiões produtoras para regiões de consumo, podendo incluir, além da movimentação doméstica, a movimentação internacional (importação e exportação) para os diferentes semestres do ano.

O objetivo do modelo de equilíbrio é maximizar a função lucro total definida por Samuelson (1952) usando a estrutura básica proposta por Takayma e Judge (1971). A principal diferença entre os modelos desenvolvidos e o aqui proposto diz respeito ao mercado, que envolve o mercado interno e externo nos diferentes semestres do ano, partindo-se do princípio do excesso de oferta e demanda que serão discutidos no item 3.3. Ainda consideramos o transporte multimodal e os pontos intermediários de carregamento.

O fluxograma ilustrado na Figura 4 representa o modelo de movimentação de soja proposto. Ele inclui regiões de oferta e demanda

doméstica, demanda internacional e os pontos intermediários: porto hidroviário (interliga as regiões pelo modal hidroviário), pontos de transbordo (interliga as regiões pelo modal ferroviário) e o porto marítimo (interliga as regiões pelo modal marítimo), indicando os possíveis modais e a intermodalidade de transporte que podem ser utilizados nessa movimentação.



**Figura 4 Fluxograma do Modelo de Movimentação da Soja**

A solução sugerida pelo modelo determina o fluxo de soja-grão das regiões de oferta para as regiões de demanda doméstica, portos e demanda internacional. O nível de preço de transporte, de transferência de modais de

transporte e as regiões de destino são compostas pela substituição na função de demanda.

Dadas as equações lineares de oferta e demanda (3.1.14) para todas as regiões envolvidas, a função objetivo e as equações de balanço são formuladas por:

$$\begin{aligned}
 Max Z = & \left\{ \sum_q \left\{ - \sum_i (a_{iq} + 0,5b_{iq}S_{iq})S_{iq} + \sum_j (a_{jq} + 0,5b_{jq}D_{jq})D_{jq} + \sum_d (a_{dq} + 0,5b_{dq}D_{dq})D_{dq} \right\} \right. \\
 & - \left. \left\{ \sum_m \left( \sum_i \left( \sum_j C_{ijm}T_{ijqm} + \sum_b C_{ibm}T_{ibqm} + \sum_p C_{ipm}T_{ipqm} \right) \right) \right\} \right. \\
 & - \left. \sum_b \left( \sum_p C_{bpq}T_{bpq} \right) - \sum_d \left( \sum_p C_{dpq}T_{dpq} \right) \right\}
 \end{aligned} \tag{3.2.1}$$

s.a.

$$\sum_m \left( \sum_j T_{ijqm} + \sum_b T_{ibqm} + \sum_p T_{ipqm} \right) + G_{qq+1} \leq S_{iq} + G_{q-1q} \quad p/ \text{ todo } i \text{ e } q; \tag{3.2.2}$$

$$\sum_p T_{bpq} \leq \sum_i \sum_m T_{ibqm} \quad p/ \text{ todo } b \text{ e } q; \tag{3.2.3}$$

$$\sum_d T_{pdq} \leq \sum_m \sum_i T_{ipqm} + \sum_b T_{bpq} \quad p/ \text{ todo } p \text{ e } q; \tag{3.2.4}$$

$$\sum_m \sum_i T_{ijqm} \geq D_{jq} \quad p/ \text{ todo } j \text{ e } q; \tag{3.2.5}$$

$$\sum_p T_{pdq} \geq D_{dq} \quad p/ \text{ todo } d \text{ e } q; \tag{3.2.6}$$

$$T, S, D \geq 0 \quad p/ \text{ todo } i, j, d, b, q. \tag{3.2.7}$$

onde:

- (3.2.1)  $Z$  = maximização do lucro interpretado como: excesso de demanda mais excesso de oferta menos custo de transporte. As próximas seis equações representam as restrições impostas ao modelo.
- (3.2.2) Restrições de fluxo de soja grão das regiões de oferta  $i$  para todas as regiões de demanda e regiões intermediárias, tendo que ser menor ou igual à quantidade ofertada nas regiões  $i$  para todo os semestres do ano.
- (3.2.3) Restrições das regiões intermediárias para os portos, tal que as quantidades transportadas para cada região devem ser menores ou iguais às quantidades recebidas para todos os semestres.
- (3.2.4) Restrições de transporte de grãos dos portos para demanda internacional, que devem ser menores ou iguais às quantidades recebidas em cada porto por diferente modais de transporte para cada semestre.
- (3.2.5) Restrições de quantidades transportadas por diferentes modais para cada região de demanda, tendo que ser maior ou igual à quantidade demandada para cada região para cada semestre.
- (3.2.6) Restrições de quantidades recebidas para cada região de demanda internacional, tendo que ser maior ou igual a quantidade demandada para cada semestre.
- (3.2.7) Restrições de não negatividade.

Os índices, os parâmetros e as variáveis do modelo são descritos como:

Índices:

$q$  : semestre (1 e 2);

$i$  : excesso de oferta ( $i= 1,2,3,\dots,I$ )

$j$ : excesso de demanda ( $j= 1,2,3,\dots,J$ )

$d$ : regiões importadoras ( $d= 1,2,3,\dots,D$ )

$m$ : modais de transporte ( $m= 1,2,3,\dots,M$ )

$b$ : pontos intermediários ( $b=1,2,3,\dots,B$ )

$p$ : portos ( $p= 1,2,3,\dots,P$ )

Parâmetros:

$C...$  = Custos de transportes (frete) nos diferentes modais de transporte

Variáveis:

$S_i$  = regiões de excesso de oferta

$D_j$  = regiões de excesso de demanda

$D_d$  = regiões de excesso de demanda internacional

$T....$  = Fluxo do movimento de soja grão

$G...$  = Quantidade armazenada nos diferentes semestres

## 2.3. Elasticidades-preço de excedente de Oferta e de Demanda

### 2.3.1. Elasticidade-preço de excedente de oferta

As equações (3.3.1) e (3.3.2) foram usadas para estimar as elasticidades-preço do excedente de oferta para as regiões exportadoras.

$$Ees = Es (Qp / Qe) - Ed (Qd / Qe) \quad (3.3.1)$$

onde,

$Ees$  = Elasticidade-preço de excedente de oferta

$Es$  = Elasticidade-preço da oferta

$Ed$  = Elasticidade-preço da demanda

$Qp$  = Quantidade produzida pela região

$Qd$  = Quantidade consumida pela região

$Qe$  = Quantidade exportada pela região

As elasticidades-preço de oferta ( $Es$ ) foram obtidas a partir de Fuller (2000), que estimou as elasticidades para os estados brasileiros. Tais elasticidades foram obtidas através de estimativas de estatísticas de área plantada (ha), dos preços pagos para implantação da área plantada em diferentes épocas do ano, como pode ser visto na equação (3.3.2):

$$Hect_t = f(Hect_{t-1}, Preço_{t-1}, Ano) \quad (3.3.2)$$

onde,

$Hect_t$  = Área plantada em hectares em um dado período de tempo  $t$

$Hect_{t-1}$  = Área plantada em hectares em um dado período de tempo  $t - 1$

$Preço_{t-1}$  = Preço em um dado período de tempo  $t - 1$

$Ano = 1, \dots, n$

As elasticidades-preço de oferta ( $E_s$ ) foram obtidas a partir dos coeficientes estimados sobre a variável de Preço em cada equação, e para facilitar a estimação das regiões de oferta foi incluída a variável Ano (Fuller, 2000).

As elasticidades de oferta para os outros países que compõem o modelo foram obtidas a partir de Gardiner e Roningen (1989).

### *2.3.2. Elasticidades-preço do excedente de demanda*

A equação (3.3.3) foi usada para estimar as elasticidades-preço do excedente de demanda para as regiões importadoras.

$$Eed = Ed (Qd / Qi) - Es (Qp / Qi) \quad (3.3.3)$$

Onde,

$Eed$  = Elasticidade-preço de excedente de demanda

$Ed$  = Elasticidade-preço da demanda

$Es$  = Elasticidade-preço da oferta

$Qd$  = Quantidade consumida pela região

$Qp$  = Quantidade produzida pela região

$Qi$  = Quantidade importada pela região

Os valores da elasticidade-preço de demanda adotados tiveram como base o trabalho de Fuller (2000), que adotou um único valor para todos os estados. Já as elasticidades-preço de demanda para os outros países que compõem o modelo foram baseadas nos resultados do trabalho de Gardiner e Roningen (1989).



## 2.4. Estimativa dos Coeficientes das Equações de Oferta e de Demanda

Os procedimentos usados para estimar os parâmetros de intercepto e inclinação da reta para as equações de oferta e de demanda, com base nas elasticidades, são apresentados a seguir:

A elasticidade-preço pode ser expressa por:

$$Ees = \frac{\partial Q}{\partial P} * (P / Q), \quad (3.3.4)$$

$Ees$  = Elasticidade-preço de excedentes de oferta e de demanda

$\frac{\partial Q}{\partial P}$  = Primeira derivação da função de excedente de oferta e de demanda

$P, Q$  = Preço médio e Quantidade

A função linear de oferta e de demanda pode ser expressa por:

$$Q = a + b P, \quad (3.3.5)$$

Onde  $\alpha$  e  $\beta$  são os coeficientes de interceptação e declividade da reta.

Então  $\alpha$  e  $\beta$  podem ser calculados a partir de:

$$Ees = b P / Q, \quad (3.3.6)$$

$$b = Ees * Q / P, \quad (3.3.7)$$

$$a = Q - b P. \quad (3.3.8)$$

As dimensões temporais do modelo requerem a inclusão de uma equação de excesso de oferta ou de demanda para cada semestre do ano.

Assumindo que o excesso na oferta ou demanda seja o mesmo para cada semestre, os parâmetros das equações de excesso de oferta e de demanda deverão ser estimados usando as equações (3.3.9) e (3.3.10) para cada semestre do ano.

$$bq = Ees * Qq / Pq , \quad (3.3.9)$$

$$aq = Qq - b * Pq , \quad (3.3.10)$$

onde  $Qq$  e  $Pq$  representam a quantidade e preço em cada semestre, respectivamente.

## **2.5. Especificação dos dados**

No modelo de equilíbrio espacial da soja brasileira, inicialmente foram identificadas as regiões potenciais de oferta e demanda de soja. A escolha partiu de um Estudo de Mercado da *Commoditie* Soja, considerando características inerentes a este mercado e a infra-estrutura disponível. Neste estudo foi analisado o comportamento dos últimos anos de algumas variáveis, entre elas: produção, rendimento médio, área cultivada, exportações, capacidade instalada de processamento (planta industrial) e infra-estrutura de transporte. A tabela 4 mostra o panorama da safra da soja no Brasil no ano de 2002 e 2003.

Tabela 4. Safra Brasileira de Soja – 2002/2003

Estados	Área (mil ha)			Produção (mil ton)			Rendimento (kg/ha)		
	2002	2003*	D (%)	2002	2003*	D (%)	2002	2003*	D (%)
Tocantins	106	145	36,5	243	361	48,7	2.281	2.580	13,1
Rondônia	29	36	25,6	89	126	41,6	2.898	3.000	3,5
<b>Norte</b>	<b>135</b>	<b>182</b>	<b>34,2</b>	<b>332</b>	<b>487</b>	<b>46,8</b>	<b>2.413</b>	<b>2.664</b>	<b>10,4</b>
Bahia	800	850	6,3	1.464	1.555	6,2	1.830	1.920	4,9
Maranhão	238	274	15,2	561	658	17,3	2.358	2.393	1,5
Piauí	86	117	34,9	91	309	239,5	1.053	2.643	151,0
<b>Nordeste</b>	<b>1.124</b>	<b>1.241</b>	<b>10,4</b>	<b>2.116</b>	<b>2.522</b>	<b>19,2</b>	<b>1.882</b>	<b>2.093</b>	<b>11,2</b>
Minas Gerais	718	862	20,1	1.951	2.293	17,5	2.719	2.679	-1,5
São Paulo	577	604	4,7	1.525	1.715	12,5	2.705	2.750	1,7
<b>Sudeste</b>	<b>1.294</b>	<b>1.466</b>	<b>13,2</b>	<b>3.476</b>	<b>4.008</b>	<b>15,3</b>	<b>2.713</b>	<b>2.708</b>	<b>-0,2</b>
Paraná	3.297	3.572	8,3	9.478	10.991	16,0	2.869	3.001	4,6
Rio Grande do Sul	3.295	3.596	9,1	5.611	9.579	70,7	1.703	2.635	54,7
Santa Catarina	240	258	7,6	530	712	34,4	2.207	2.668	20,9
<b>Sul</b>	<b>6.833</b>	<b>7.426</b>	<b>8,7</b>	<b>15.618</b>	<b>21.282</b>	<b>36,3</b>	<b>2.283</b>	<b>2.812</b>	<b>23,2</b>
Mato Grosso	3.822	4.521	18,3	11.697	12.721	8,8	3.060	3.089	0,9
Goiás	1.903	2.178	14,4	5.508	6.320	14,7	2.841	2.905	2,3
Mato Grosso do Sul	1.196	1.409	17,9	3.278	4.088	24,7	2.733	2.898	6,0
Distrito Federal	38	43	14,5	103	119	15,4	2.731	2.612	-4,4
<b>Centro-Oeste</b>	<b>6.958</b>	<b>8.151</b>	<b>17,1</b>	<b>20.586</b>	<b>23.248</b>	<b>12,9</b>	<b>2.942</b>	<b>3.004</b>	<b>2,1</b>
<b>Brasil</b>	<b>16.345</b>	<b>18.465</b>	<b>13,0</b>	<b>42.129</b>	<b>51.547</b>	<b>22,4</b>	<b>2.571</b>	<b>2.839</b>	<b>10,4</b>

\* Previsão

Fonte: IBGE, 2003.

A produção de soja no Brasil concentra-se na região Centro-Oeste e Sul, sendo responsável, respectivamente por 45% e 41% da produção na safra de 2003. De acordo com Embrapa (2000), a produção de soja no Brasil concentrou-se na Região Centro-Sul até o início dos anos 80, a partir daí a participação da Região Centro-Oeste aumentou significativamente. A expansão da área cultivada de soja no Brasil é resultado tanto da

incorporação de novas áreas, nas regiões Centro-Oeste e Norte, quanto da substituição de outras culturas na Região Centro-Sul.

A tabela 5 indica a taxa de crescimento médio anual da produção com base nos últimos doze anos (2002-1990), que juntamente com a evolução do rendimento médio da produção no gráfico 6 e a evolução das exportações por estado no gráfico 7, foram identificados os estados com maior participação na produção nacional, potencial de crescimento e uma “tradição” no cultivo da soja que compuseram o modelo.

**Tabela 5 Crescimento Médio Anual da Produção de Soja**

<b>Estados</b>	<b>D % médio a.a.</b>
Rondônia	21%
Bahia	17%
Goiás	13%
Mato Grosso	12%
Minas Gerais	9%
Paraná	7%
Mato Grosso do Sul	5%
São Paulo	5%
Rio Grande do Sul	3%
<b>Brasil</b>	<b>8%</b>

Fonte: IBGE, 2003.

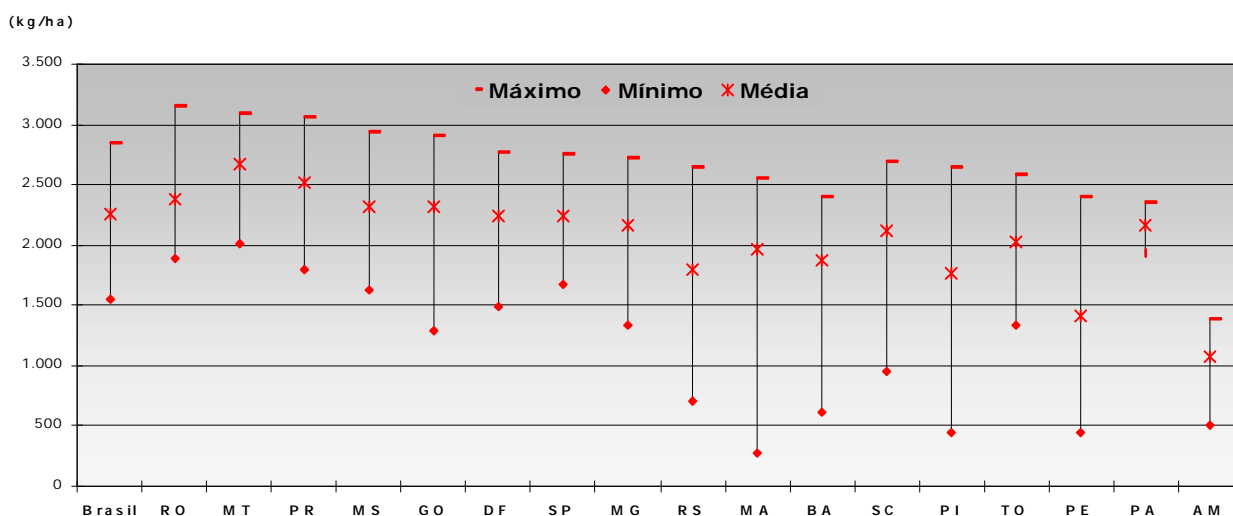
Com o incentivo governamental dos últimos anos, na tentativa de impulsionar o desenvolvimento econômico com a abertura de novas fronteiras agrícolas, alguns estados que, apesar de ainda não apresentarem volumes de produção expressivos foram incluídos no modelo, como os estados de Maranhão e Rondônia.

O estado de Rondônia, por exemplo, obteve o maior crescimento médio anual do país e apesar de obter ainda uma produção baixa foi incluído

no modelo por apresentar um dos maiores rendimentos médios (vide Gráfico 6).

Deste modo foram incluídos no modelo os estados: Amazonas, Rondônia, Maranhão, Bahia, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul.

**Gráfico 6 Rendimento Médio da Cultura da Soja**



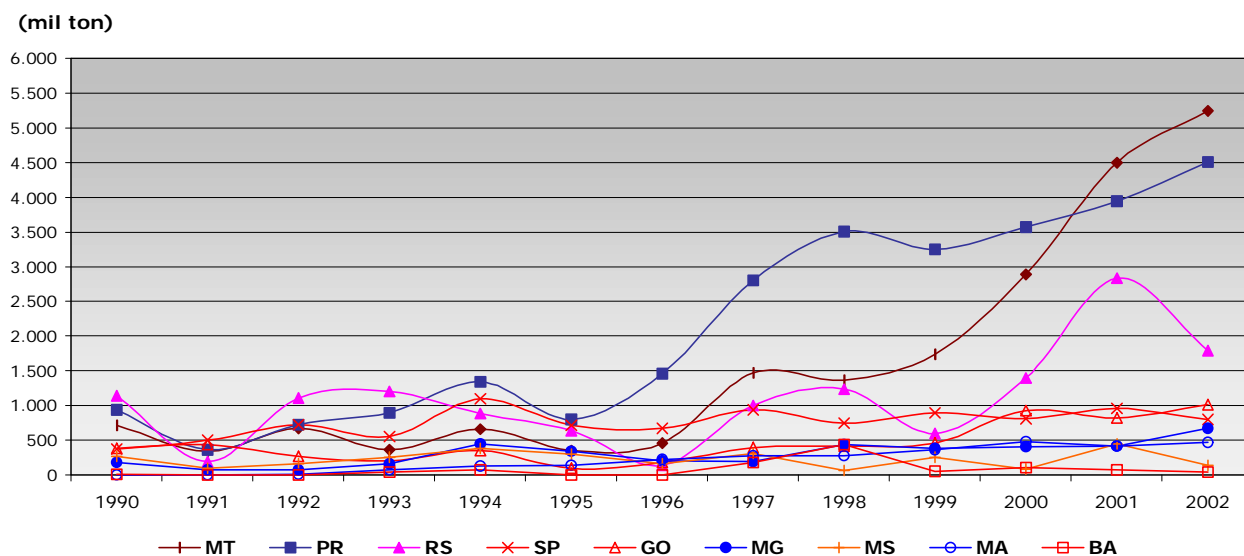
Fonte: IBGE, 2003.

O gráfico 6 ilustra os rendimentos médios de 1990 a 2002 indicando o valor máximo, mínimo e médio nesse período. Assim podemos verificar a regularidade de cada estado, como também o comportamento em relação ao rendimento médio brasileiro. Os estados com maior rendimento médio estão acima da média brasileira e com pequenas amplitudes.

O gráfico 7 mostra a evolução das exportações de soja dos estados incluídos no modelo. Segundo dados do Ministério do Desenvolvimento da Indústria e do Comércio (MDIC, 2003), o volume de exportação brasileiro teve um crescimento de cerca de 38% de 2000 a 2002, passando de um volume de 11,52 para 15,97 milhões de toneladas. Deste volume exportado

em 2002, o Mato Grosso foi responsável por 32,8% com um volume de 5,24 milhões de toneladas e o Paraná responsável por 28,3% com um volume de 4,52 milhões de toneladas. A tendência das exportações é crescente e pode ser confirmada através do gráfico 7.

**Gráfico 7 Evolução das Exportações de Soja**



Fonte: Ministério do Desenvolvimento da Indústria e Comércio (MDIC), 2003.

Foi também analisada a capacidade instalada de processamento, como pode ser vista na tabela 6 que nos mostra a participação dos principais estados no processamento da soja.

**Tabela 6 Capacidade Instalada de Processamento**

Estados	Capacidade Instalada de Processamento (ton/dia)	Participação
Paraná	27.050	26%
Rio Grande do Sul	15.950	16%
Mato Grosso	14.600	14%
São Paulo	10.950	11%
Góias	8.000	8%
Mato Grosso do Sul	7.500	7%
Minas Gerais	6.500	6%
Bahia	5.200	5%
Amazonas	2.000	2%
Outros	4.560	5%
<b>Total</b>	<b>102.310</b>	<b>100%</b>

Fonte: Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE), 2003.

O volume processado no ano de 2002 segundo ABIOVE foi de 25.842 mil toneladas e de acordo com a participação foram determinados os volumes processados por cada estado. Na tabela 7 indicamos os volumes de produção e de consumo, determinando os volumes de oferta e demanda caracterizando assim as regiões de excesso de oferta e demanda nacional.

Para caracterização das regiões de excesso de oferta e demanda partiu-se da seguinte premissa: se a produção de soja for maior que a quantidade processada pelo estado, essa região fica caracterizada como uma região de excesso de oferta, caso contrário se a quantidade processada for maior que a produção do estado, essa região fica caracterizada como uma região de excesso de demanda.

Para os estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Paraná foram identificadas diferentes microrregiões com comportamentos diferentes: quatro para o Mato Grosso, duas para o Mato Grosso do Sul e cinco para o Paraná, visto que estes estados são os principais produtores brasileiros,

tanto com relação a produção como ao processamento. As informações sobre o processamento em cada microrregião foram obtidas através do contato direto com as empresas, já que os dados não são divulgados publicamente devido ao sigilo deste setor. Assim foram obtidas a capacidade instalada de processamento ativa e produção anual.

Os preços da soja grão para cada estado foram analisados utilizando-se uma média dos preços das cotações do ano de 2002<sup>3</sup>. Foi utilizado também o preço CIF no porto de Rotterdam<sup>4</sup> para caracterizar os preços das regiões importadoras. Ambos os preços foram analisados para os dois semestres do ano de 2002.

Na figura 5 podemos verificar a distribuição e os níveis de produção de soja em todos os estados produtores do Brasil no ano de 2002, identificando ainda as microrregiões consideradas para os estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Paraná.

---

<sup>3</sup> Fonte: Consultoria SAFRAS & Mercado.

<sup>4</sup> Fonte: Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).



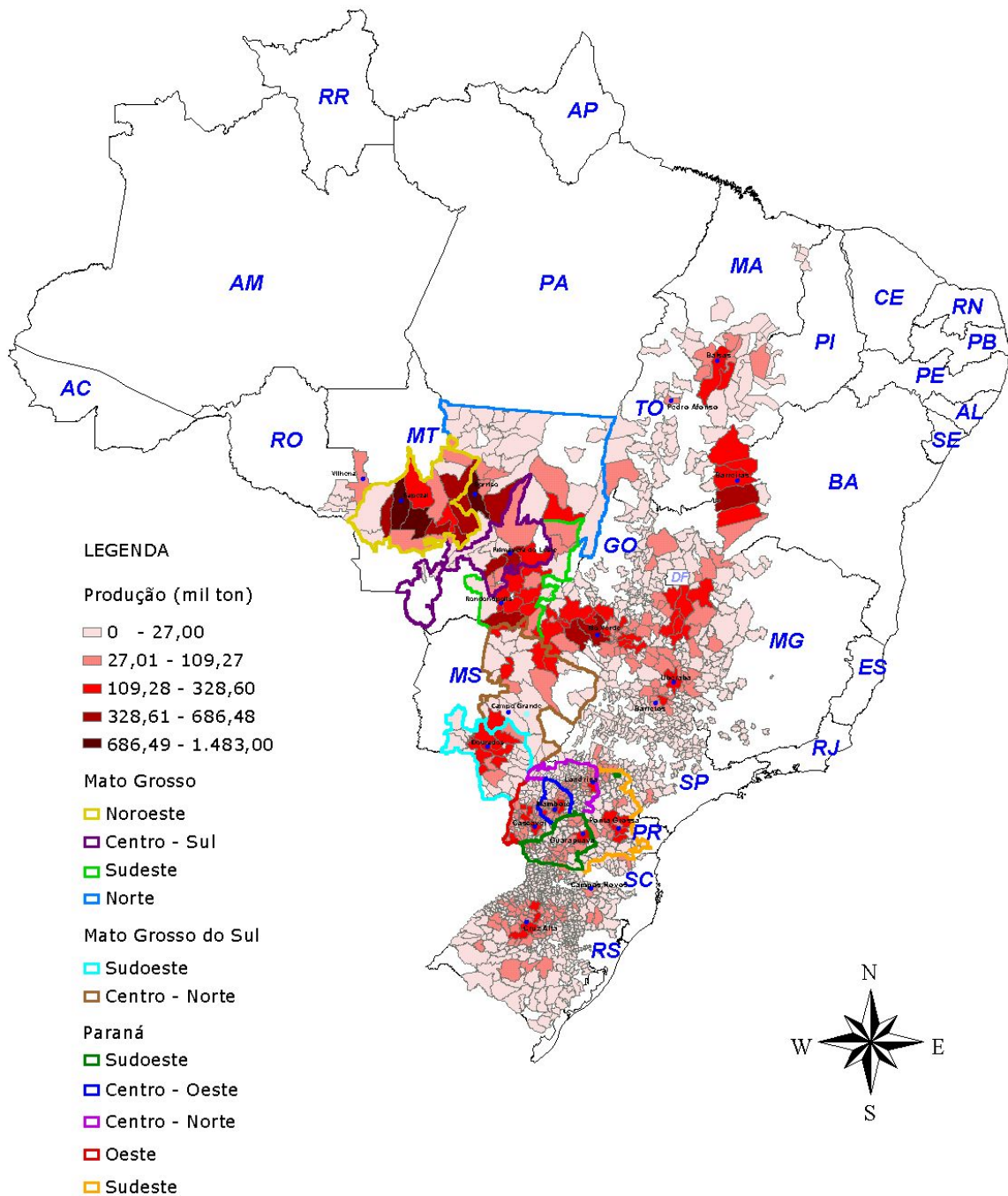


Figura 5 Produção Brasileira de Soja em 2002

Tabela 7 Regiões de Excesso de Oferta e Demanda Nacional

<b>Regiões de Excesso de Oferta</b>	<b>Produção (mil ton)</b>	<b>Oferta (mil ton)</b>	<b>Consumo (mil ton)</b>
BA	1.464,0	150,6	1.313,4
GO	5.508,7	3.488,0	2.020,7
MA	561,1	561,1	0,0
MG	1.951,3	309,5	1.641,8
MS - Sudoeste	1.938,4	1.559,5	378,9
MT - Norte	4.725,1	4.725,1	0,0
MT - Noroeste	3.679,0	3.679,0	0,0
PR - Centro oeste	1.636,2	1.333,1	303,1
PR - Oeste	2.735,1	2.002,6	732,5
PR - Sudoeste	1.739,2	905,7	833,5
RO	89,2	89,2	0,0
RS	5.611,0	1.582,3	4.028,7
<b>Regiões de Excesso de Demanda Doméstica</b>	<b>Produção (mil ton)</b>	<b>Demanda (mil ton)</b>	<b>Consumo (mil ton)</b>
AM	0,0	(505,2)	505,2
MS - Centro norte	1.340,2	(175,3)	1.515,5
MT - Centro sul	1.613,6	(179,7)	1.793,4
MT - Sudeste	1.679,2	(215,2)	1.894,4
PR - Centro norte	1.460,7	(269,5)	1.730,2
PR - Sudeste	1.906,8	(1.326,3)	3.233,1
SP	1.525,5	(1.240,3)	2.765,8
<b>Regiões de Excesso de Demanda Internacional</b>	<b>Produção (mil ton)</b>	<b>Importação (mil ton)</b>	<b>Consumo (mil ton)</b>
China	16.400,0	16.000,0	32.250,0
Europa	917,0	18.730,0	17.870,0
Japão	280,0	5.050,0	5.295,0

A tabela 7 indica as regiões que compuseram o modelo e os volumes envolvidos. Na caracterização da oferta, o volume da produção de soja foi considerado disponível no primeiro semestre do ano. Para a caracterização da quantidade demandada, foi considerado que em cada semestre do ano eram consumidos 50% do total demandado, gerando um fluxo para o modelo nos dois diferentes períodos do ano.

Os países importadores de soja de grão considerados no modelo compreendem alguns países da Europa (Alemanha, Bélgica, Espanha, Itália, França, Países Baixos e Reino Unido), além de China e Japão.

A Tabela 8 informa os preços utilizados pelo modelo de equilíbrio espacial nos dois semestres do ano e as elasticidades-preço de oferta e de demanda, baseadas em Fuller (2000) e Gardiner e Roningén (1989).

**Tabela 8 Preços e Elasticidades-preço de oferta e demanda**

<b>Regiões de Excesso de Oferta</b>	<b>Preço 1 (US\$/ton)</b>	<b>Preço 2 (US\$/ton)</b>	<b>Es</b>	<b>Ed</b>	<b>Ees</b>
BA	156,80	156,80	0,29	-0,10	3,69
GO	164,10	164,10	0,41	-0,10	0,71
MA	157,50	157,50	0,29	-0,10	0,29
MG	167,10	167,10	0,29	-0,10	0,29
MS - Sudoeste	171,70	171,70	0,45	-0,10	0,58
MT - Norte	155,00	155,00	0,30	-0,10	0,30
MT - Noroeste	156,40	156,40	0,30	-0,10	0,30
PR - Centro oeste	183,60	183,60	0,38	-0,10	0,49
PR - Oeste	182,40	182,40	0,38	-0,10	0,59
PR - Sudoeste	183,10	183,10	0,38	-0,10	0,82
RO	153,40	153,40	0,20	-0,10	0,20
RS	188,80	188,80	0,22	-0,10	1,03
<b>Regiões de Excesso de Demanda Doméstica</b>	<b>Preço 1 (US\$/ton)</b>	<b>Preço 2 (US\$/ton)</b>	<b>Es</b>	<b>Ed</b>	<b>Eed</b>
AM	171,7	211,7	0,20	-0,10	-0,10
MS - Centro norte	152,9	196,4	0,45	-0,10	-0,86
MT - Centro sul	140,1	186,4	0,30	-0,10	-1,00
MT - Sudeste	144,8	190,1	0,30	-0,10	-0,88
PR - Centro norte	162,2	205,0	0,38	-0,10	-0,64
PR - Sudeste	168,2	208,8	0,38	-0,10	-0,24
SP	159,5	203,1	0,29	-0,10	-0,22
<b>Regiões de Excesso de Demanda Internacional</b>	<b>Preço 1 (US\$/ton)</b>	<b>Preço 2 (US\$/ton)</b>	<b>Es</b>	<b>Ed</b>	<b>Eed</b>
China	196,00	234,00	0,30	-0,15	-0,30
Europa	196,00	234,00	0,40	-0,32	-0,31
Japão	196,00	234,00	0,60	-0,19	-0,20

Preço 1: média de preços do primeiro semestre/2002; Preço 2: média de preços do segundo semestre/2002; Es: elasticidade-preço de oferta; Ed: elasticidade-preço de demanda; Ees: elasticidade-preço de excedente de oferta e Eed: elasticidade-preço de excedente de demanda.

## 2.6. Custos de Transporte

O transporte inter-regional de grãos ocorre, normalmente, com o envolvimento do modal rodoviário, onde a maior parte dos grãos é transportada das fazendas em caminhões, e de uma maneira geral é mais vocacionado para o transporte de curtas distâncias. Assim, o transporte rodoviário se torna um modal de transporte menos importante para grãos quando se trata de movimentos em médias e longas distâncias devido aos altos fretes praticados.

Quanto às peculiaridades do transporte da soja em grãos e farelo de soja, cabe destacar os principais pontos que caracterizam a movimentação e o escoamento desta *commodity*, destacados por Soares (*et al*, 1997). Há uma intensa utilização dos serviços de transporte no escoamento da safra de soja, provocando grande desestabilização no mercado de frete. Isso é observado devido à oferta de veículos não ser suficiente para cobrir a demanda existente para movimentação da soja e outros produtos agrícolas, proporcionando aumento significativo dos fretes. Devido à existência de uma boa capacidade de armazenamento da soja em cooperativas e empresas privadas, “há um pico no mercado de fretes em trechos que têm como origem a unidade agrícola” (SOARES *et al*, 1997:26).

Os custos de transporte dos modais rodoviário e ferroviário no modelo de equilíbrio espacial foram estimados através de modelos lineares considerando as distâncias entre os pontos de carregamento e os de recepção (origem/destino). O comportamento do custo dos modais (variável de resposta) foi qualificado através da regressão de um banco de dados de fretes praticados em 2002<sup>5</sup> em todo o território brasileiro de acordo com a distância e os diferentes meses do ano, onde foi observado um

---

<sup>5</sup> Fonte: Sistema de Informações de Fretes (SIFRECA).

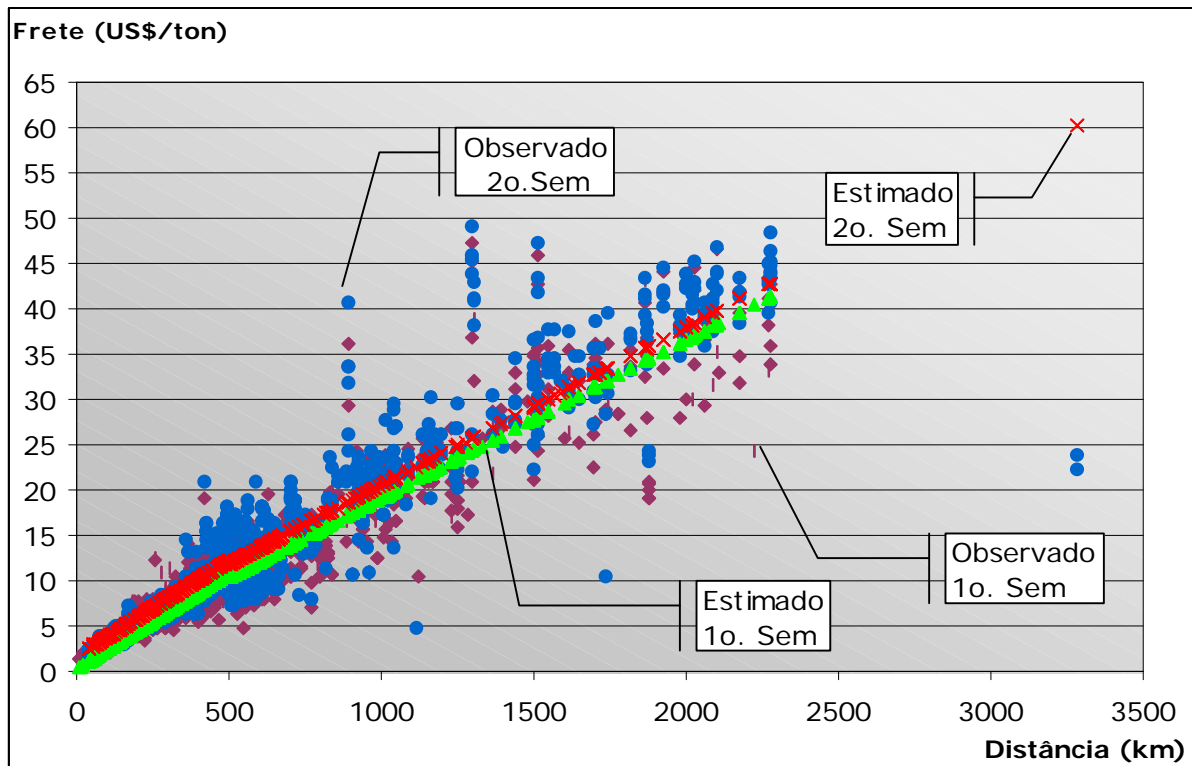
comportamento linear. Já para o modal hidroviário o número de observações disponível não foi suficiente para gerar um modelo com estatísticas significativas, entretanto apresentou um comportamento regular durante o ano com preços constantes para as distâncias envolvidas.

Deste modo para o modal rodoviário partiu-se da hipótese de existir um comportamento diferenciado para fretes com distâncias de até 500 quilômetros e com uma sazonalidade de preços para o primeiro e segundo semestre do ano (variáveis explicativas). Assim para o modal rodoviário temos:

$$\begin{aligned}
 Y &= X\mathbf{b} + \mathbf{e} \\
 y &= \mathbf{b}_0 + \mathbf{b}_1(km)d_1 + \mathbf{b}_2(km)(1 - d_1) + \mathbf{b}_3d_1 + \mathbf{b}_4d_2 + \mathbf{e} \\
 d_1 &= \begin{cases} 1 & \text{se distância} \geq 500 \\ 0 & \text{se distância} < 500 \end{cases} \\
 d_2 &= \begin{cases} 0 & \text{se semestre} = 1 \\ 1 & \text{se semestre} = 2 \end{cases}
 \end{aligned} \tag{3.6.1}$$

Para o modelo linear de custo foi utilizado um programa estatístico Minitab 13.0. O gráfico 8 ilustra o comportamento dos custos rodoviários.

Gráfico 8 Dispersão dos Custos Rodoviários por Quilômetro



Para o modal rodoviário obtivemos:

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} 1,1632 \\ 0,0174 \\ 0,0212 \\ 1,4861 \\ -1,4179 \end{bmatrix}$$

A tabela 9 detalha as estatísticas obtidas para o modelo linear de custo para o modal rodoviário, mostrando que os resultados encontrados são significativos para as variáveis de resposta e explicativas analisadas.

Tabela 9 Estatísticas dos Custos Rodoviários

Variável	Desvio Padrão	Estatística t	p
$\beta 0$	0,2559	6,50	0,00001
$\beta 1$	0,0002	79,88	0,00001
$\beta 2$	0,0007	27,54	0,00001
$\beta 3$	0,3490	4,26	0,00001
$\beta 4$	0,1538	-9,22	0,00001

$$R^2 = 0,875$$

$$(Teste F, F = 3.640, p \leq 0,0001)$$

$$N = 2.089$$

Para o modal rodoviário os coeficientes  $b_i$   $i = 0, \dots, 4$  do modelo linear é significativamente diferente de zero, dado que a estatística t dos testes t-student para esses coeficientes são diferentes de zero e indicam valores-p baixo mostrando pouca evidência estatística em favor da hipótese de que os coeficientes das variáveis explicativas são zeros. Desta forma as variáveis explicativas utilizadas no modelo de regressão são importantes para explicar a variável custo. O ajuste medido pelo  $R^2$  encontrado indica que 87,5% da variância da variável custo é explicada pela regressão, ou seja, 87,5% da variância do custo se deve à regressão restando 12,5% decorrente de causas não determinísticas (aleatórias). O teste F-Snedecor realizado indica que a regressão utilizando as variáveis explicativas (quilômetros e sazonalidade) são importantes e relevantes para explicar a variável custo (Teste F,  $F = 3.640$ ,  $p \leq 0,0001$ ). Assim obtivemos as seguintes equações:

#### Primeiro semestre

- Distância  $\geq 500$  km:

$$\text{Frete} = 1,6632 + (0,0174 * \text{km}) + 1,4861 \quad (3.6.2)$$

- Distância  $< 500$  km:

$$\text{Frete} = 1,6632 + (0,0212 * \text{km}) \quad (3.6.3)$$

Segundo semestre

- Distância  $\geq 500$  km:

$$\text{Frete} = 1,6632 + (0,0174 * \text{km}) + 1,4861 - 1,4179 \quad (3.6.4)$$

- Distância  $< 500$  km:

$$\text{Frete} = 1,6632 + (0,0212 * \text{km}) - 1,4179 \quad (3.6.5)$$

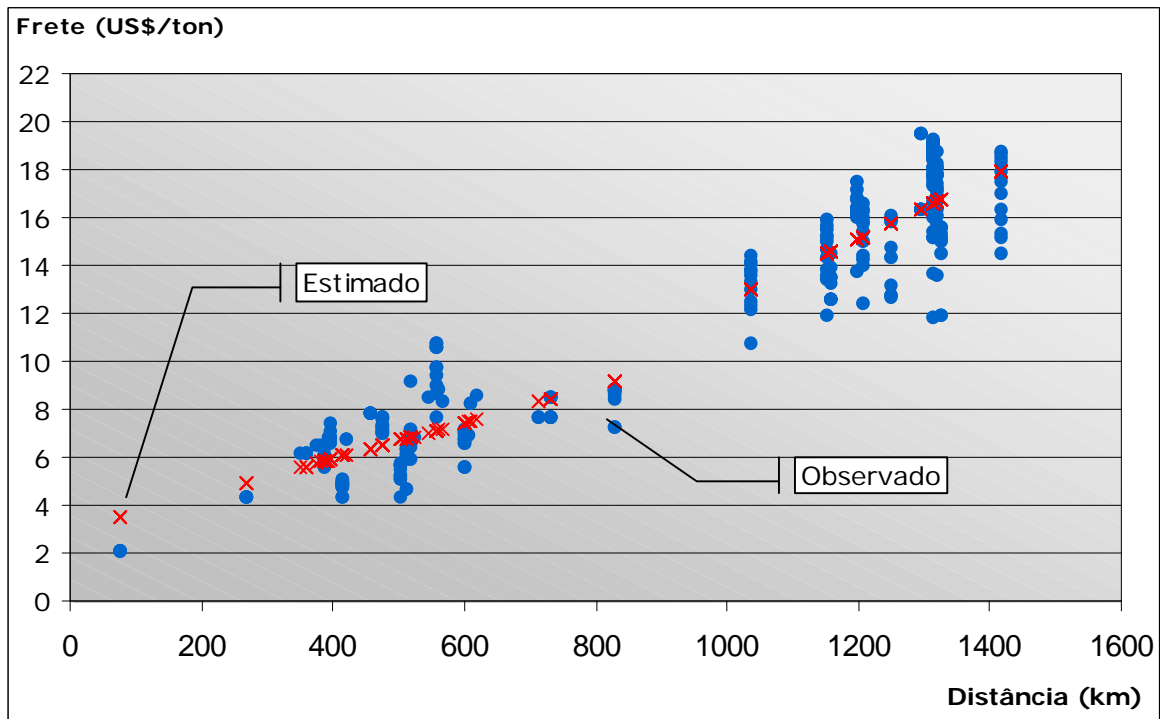
Para o transporte ferroviário, as equações foram desenvolvidas da mesma maneira que para o modal rodoviário não incluindo a variável semestre, visto que a esta variável explicativa não obteve significância estatística quando inserida no modelo e foi observado um comportamento linear dos preços ferroviários durante o ano. A distância referência encontrada foi de 850 km. Assim temos

$$\begin{aligned}
 Y &= X\mathbf{b} + \mathbf{e} \\
 y &= \mathbf{b}_0 + \mathbf{b}_1(\text{km})d_1 + \mathbf{b}_2(\text{km})(1 - d_1) + \mathbf{b}_3d_1 + \mathbf{e} \\
 d_1 &= \begin{cases} 1 & \text{se distância} \geq 850 \\ 0 & \text{se distância} < 850 \end{cases} \quad (3.6.6)
 \end{aligned}$$

O gráfico 9 ilustra o comportamento dos custos ferroviários.



Gráfico 9 Dispersão dos Custos Ferroviários por Quilômetro



Para o modal ferroviário obtivemos:

$$b = \begin{bmatrix} 2,9065 \\ 0,0130 \\ 0,0076 \\ -3,4368 \end{bmatrix}$$

A tabela 10 detalha as estatísticas obtidas para o modal ferroviário.

Tabela 10 Estatísticas dos Custos Ferroviários

Variável	Desvio Padrão	Estatística t	p
$\beta 0$	0,4224	6,88	0,00001
$\beta 1$	0,0012	10,61	0,00001
$\beta 2$	0,0008	9,42	0,00001
$\beta 3$	1,6040	-2,14	0,00001

$R^2 = 0,91$   
 (Teste F,  $F = 1.039$ ,  $p \leq 0,0001$ )  
 N = 308

Para o modal ferroviário os coeficientes  $b_i$   $i = 0, \dots, 3$  do modelo linear é significativamente diferente de zero, sendo que em todos os casos a estatística t dos testes t-student para cada coeficiente indica pouca evidência estatística em favor da hipótese nula de que o coeficiente é igual a zero e deste modo as variáveis explicativas utilizadas no modelo de regressão são importantes para explicar a variável custo. O ajuste medido pelo  $R^2$  encontrado indica que 91,1% da variância da variável custo é explicada pela regressão, ou seja, 91,1% da variância do custo se deve à regressão restando 8,9% decorrente de causas não determinísticas (aleatórias). Assim como no modelo anterior, o teste F-Snedecor realizado indica que a regressão utilizando as variáveis explicativas (quilômetros) são importantes e relevantes para explicar a variável custo (Teste F,  $F = 1.038$ ,  $p \leq 0,0001$ ). Assim obtivemos as seguintes equações:

- Distância  $\geq 850$  km:

$$\text{Frete} = 2,9065 + (0,0130 * \text{km}) - 3,4368 \quad (3.6.7)$$

- Distância  $< 850$  km:

$$\text{Frete} = 2,9065 + (0,0076 * \text{km}) \quad (3.6.8)$$

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Verificação

O modelo de equilíbrio espacial obtido para a movimentação da soja brasileira deve passar por um processo de verificação e validação dos dados para determinação da sua confiabilidade e utilidade, podendo assim gerar cenários futuros.

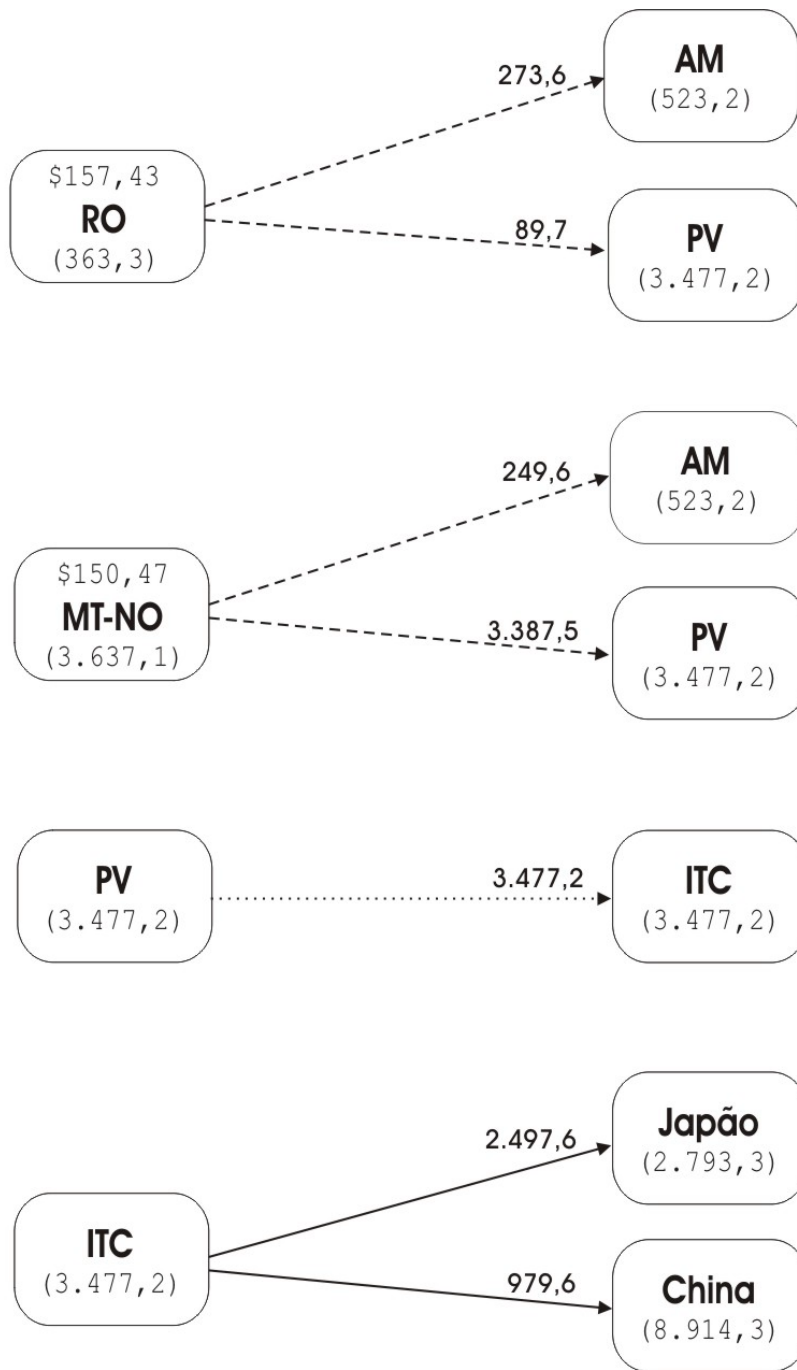
O primeiro passo desenvolvido foi a verificação dos dados resultantes, analisando-se os fluxos gerados entre a oferta e a demanda de soja nas respectivas regiões e nos dois semestres envolvidos, com ênfase nas quantidades comercializadas e nos preços de equilíbrio para cada região. Assim a tabela 11 mostra os volumes resultantes e os preços de equilíbrio para a comercialização.

**Tabela 11 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial para Soja – Cenário A**

Oferta	Volume (mil ton)	Preço (US\$/ton)	Demanda	Volume (mil ton)
RS	3.951,6	173,80	SP	1.358,1
RO	363,3	157,43	PRSD	1.473,8
PRSO	1.682,4	172,39	PRNC	347,4
PRO	1.941,8	172,44	MTSD	292,8
PRCO	1.514,8	173,02	MTCS	253,6
MTN	4.854,4	150,00	MSCN	241,7
MTNO	3.637,1	150,47	AM	523,2
MSSO	1.667,7	161,75	Sub-total (a)	4.490,7
MG	2.720,4	172,02	EUROPA	10.529,9
MA	573,8	169,78	JAPÃO	2.793,3
GO	3.662,4	162,66	CHINA	8.914,3
BA	158,4	159,03	Sub-total (b)	22.237,5
<b>Total</b>	<b>26.728,2</b>	<b>-</b>	<b>Total (a+b)</b>	<b>26.728,2</b>

O volume total comercializado foi de 26.728,2 mil toneladas de soja, onde o mercado interno captou cerca de 16,8% e o mercado internacional 83,2%. O preço de equilíbrio médio ponderado obtido na comercialização foi de US\$ 163,21/ton.

A seguir são ilustrados os fluxos de transporte obtidos para a movimentação da soja brasileira, indicando as origens e destinos, o fluxo de transporte e o modal viário envolvido.

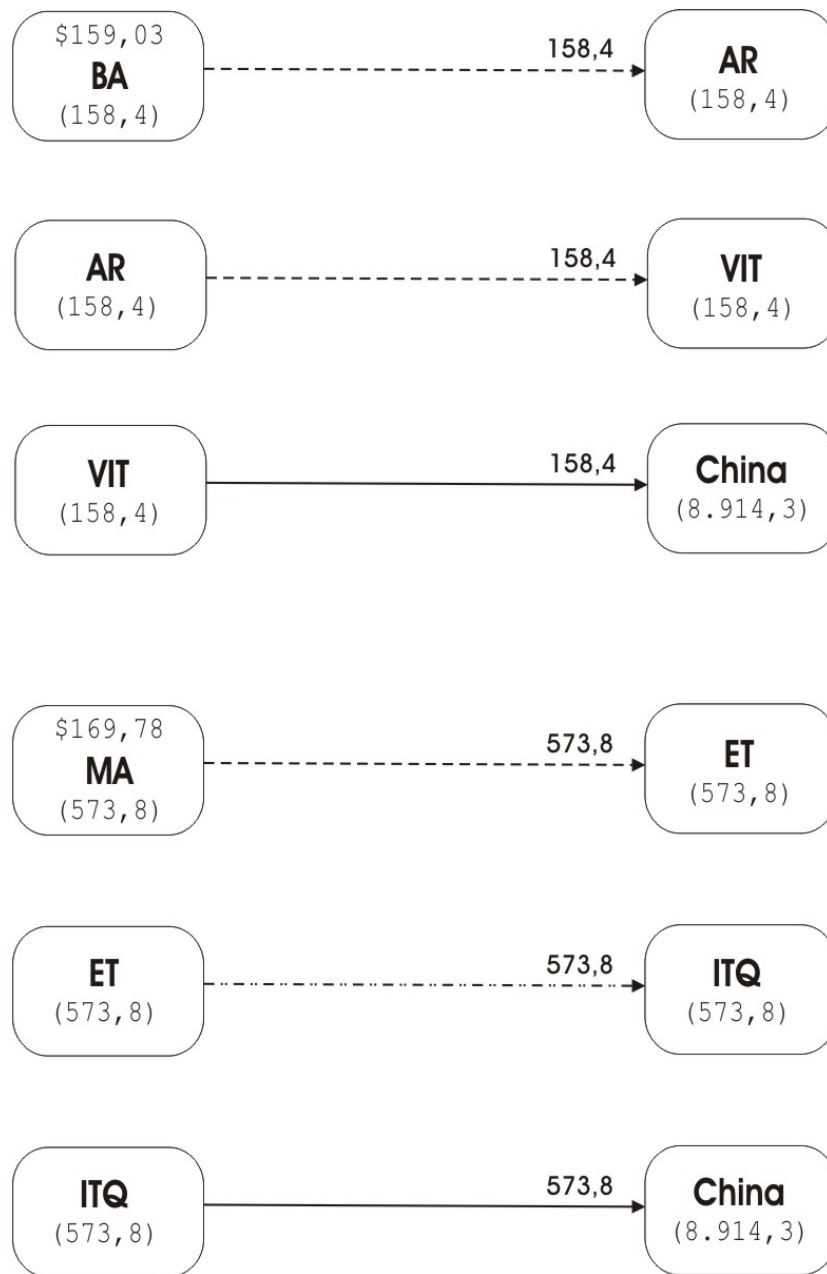


RO: Rondônia  
 MT-NO: Mato Grosso - Noroeste  
 PV: Porto Hidroviário de Porto Velho  
 ITC: Porto de Exportação de Santarém

Rodovia: - - - ->  
 Ferrovia: - · - · ->  
 Hidrovia: ······>  
 Marítimo: ———>

\$11,11: Preço de Comercialização (U\$/ton)  
 (11,1): Volume Oferta/Demanda (mil ton)  
 11,1: Fluxo de Soja (mil ton)

Figura 6 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial

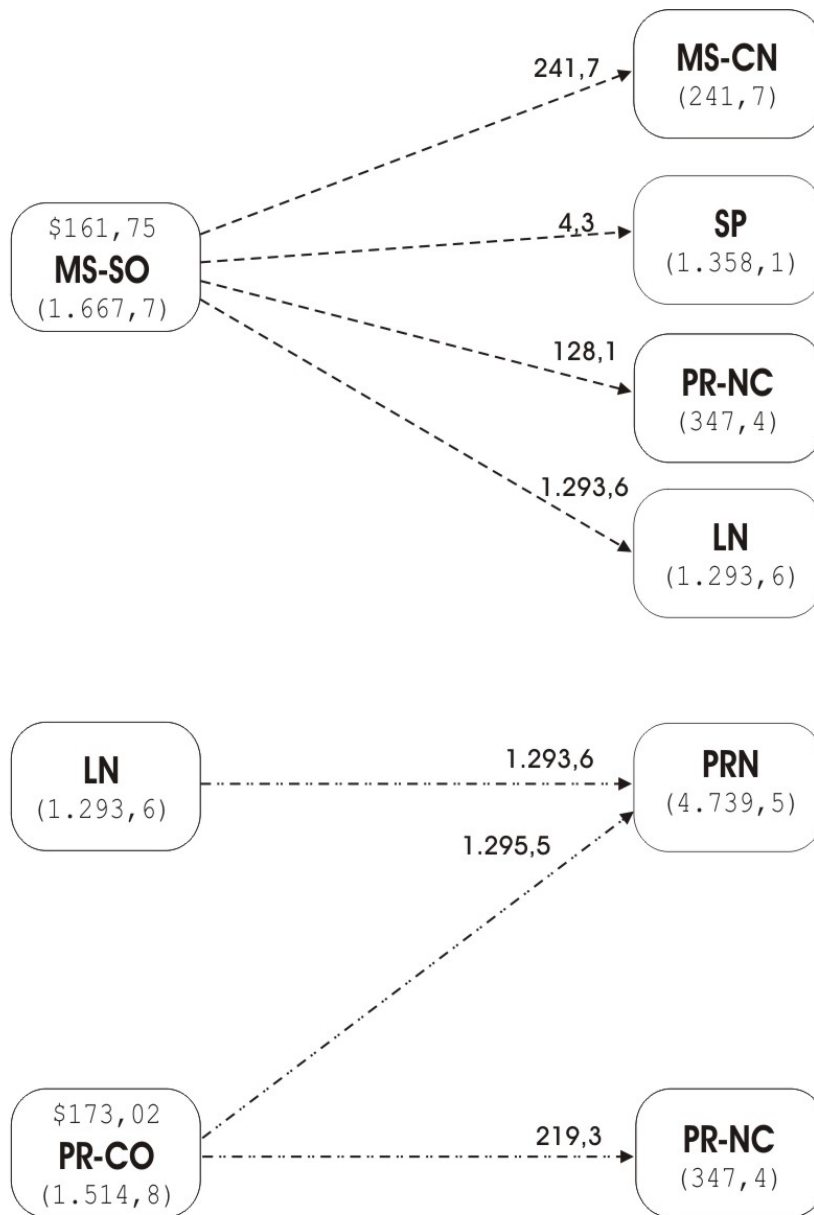


BA: Bahia  
 MA: Maranhão  
 AR: Estação Ferroviária de Araguari  
 ET: Estação Ferroviária de Estreito  
 VIT: Porto de Exportação de Vitória  
 ITQ: Porto de Exportação de São Luíz

Rodovia: - - - ->  
 Ferrovia: - · - ·>  
 Hidrovia: ·····>  
 Marítimo: ———>

\$11,11: Preço de Comercialização (U\$/ton)  
 (11,1): Volume Oferta/Demanda (mil ton)  
 11,1: Fluxo de Soja (mil ton)

Figura 7 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial

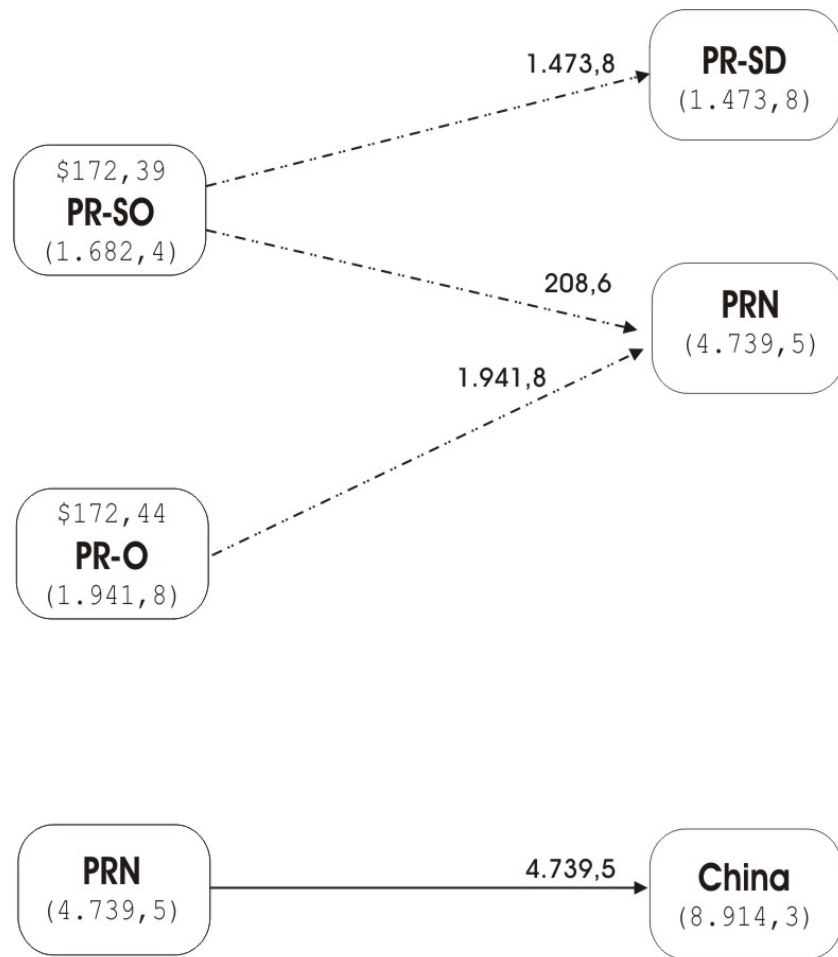


MS-SO: Mato Grosso do Sul - Sudoeste  
 MS-CN: Mato Grosso do Sul- Centro  
 PR-CO: Paraná - Centro-oeste  
 PR-NC: Paraná - Centro-norte  
 SP: São Paulo  
 LN: Estação Ferroviária de Londrina  
 PRN: Porto de Exportação de Paranaguá

Rodovia: - - - ->  
 Ferrovia: - · - · ->  
 Hidrovia: ·····>  
 Marítimo: ———>

\$11,11: Preço de Comercialização (U\$/ton)  
 (11,1): Volume Oferta/Demanda (mil ton)  
 11,1: Fluxo de Soja (mil ton)

**Figura 8 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial**



PR-SO: Paraná - Sudoeste

PR-O: Paraná - Oeste

PR-SD: Sudeste

PRN: Porto de Exportação de Paranaguá

Rodovia: ---->

Ferrovia: - · - ·>

Hidrovia: ·····>

Marítimo: ———>

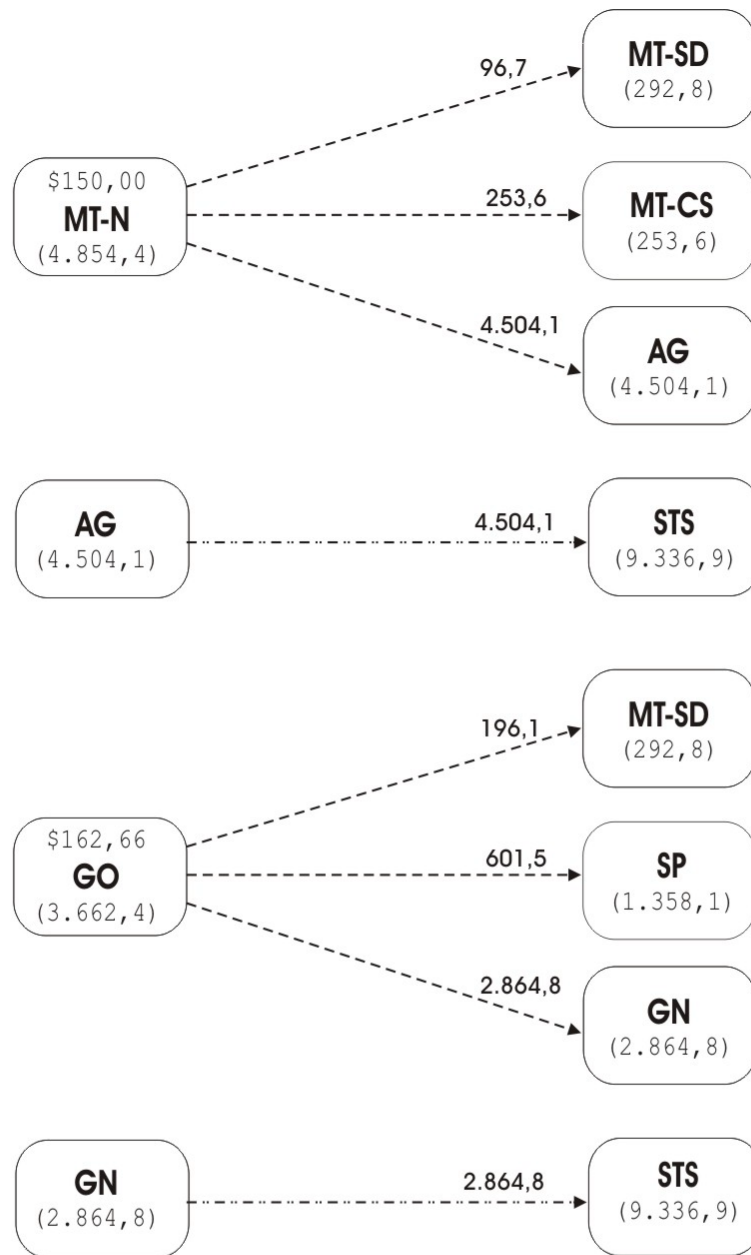
\$11,11: Preço de Comercialização (U\$/ton)

(11,1): Volume Oferta/Demanda (mil ton)

11,1: Fluxo de Soja (mil ton)

**Figura 9 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial**



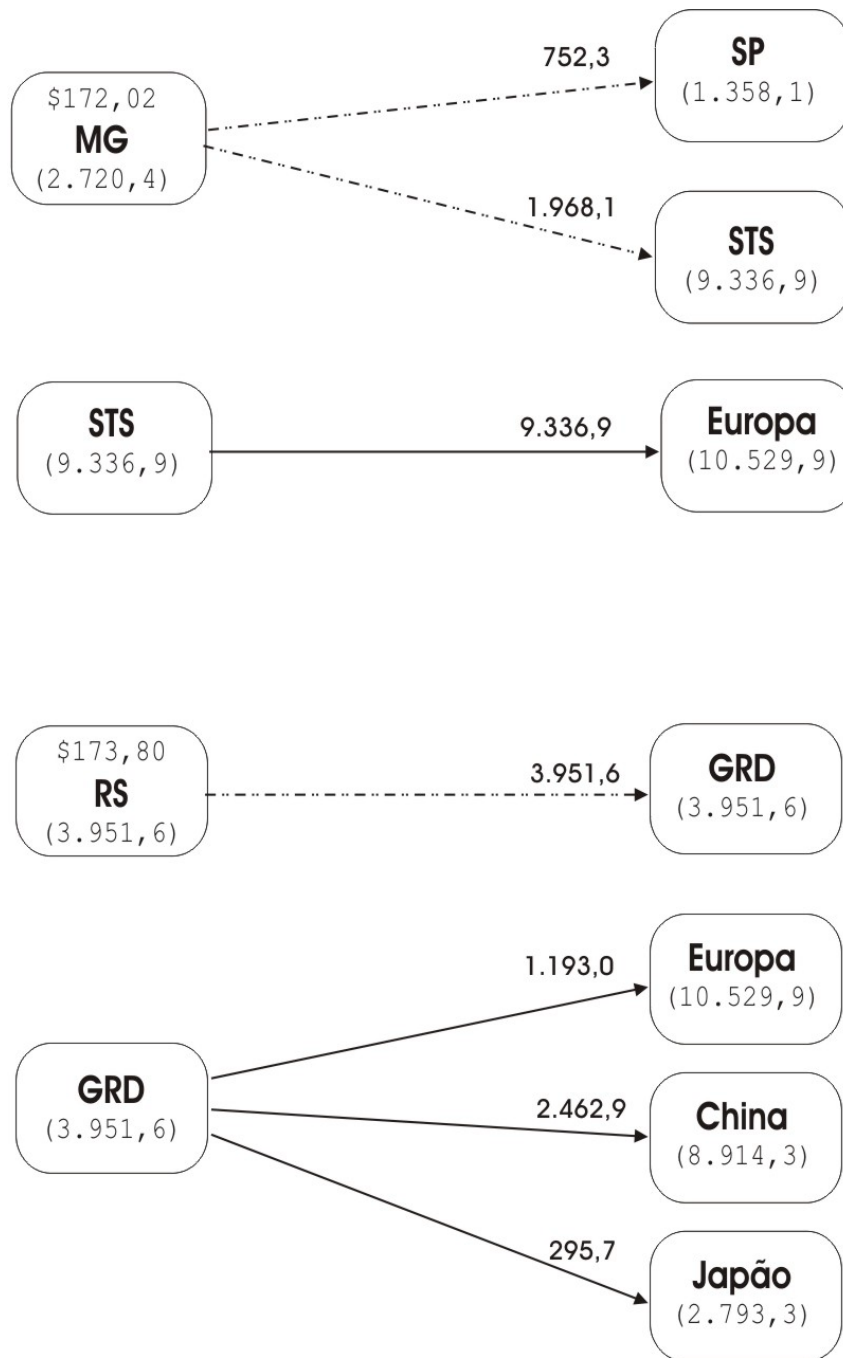


MT-N: Mato Grosso - Norte  
 GO: Goiás  
 MT-SD: Mato Grosso - Sudeste  
 MT-CS: Mato Grosso - Centro-sul  
 SP: São Paulo  
 AG: Estação Ferroviária de Alto Araguaia  
 GN: Estação Ferroviária de Goiânia  
 STS: Porto de Exportação de Santos

Rodovia: - - - ->  
 Ferrovia: - · - · ->  
 Hidrovia: ······>  
 Marítimo: ———>

\$11,11: Preço de Comercialização (U\$/ton)  
 (11,1): Volume Oferta/Demanda (mil ton)  
 11,1: Fluxo de Soja (mil ton)

Figura 10 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial



MG: Minas Gerais

SP: São Paulo

STS: Porto de Exportação de Santos

RS: Rio Grande do Sul

GRD: Porto de Exportação de Rio Grande

Rodovia: - - - - -> \$11,11: Preço de Comercialização (U\$/ton)

Ferrovia: - · - · -> (11,1): Volume Oferta/Demanda (mil ton)

Hidrovia: ·····> 11,1: Fluxo de Soja (mil ton)

Marítimo: ———>

**Figura 11 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial**

### 3.2. Validação

Segundo Fellin (1993:79), os procedimentos de validação de modelos são necessários para interpretar e analisar o comportamento dos resultados do modelo. Entretanto a maioria dos modelos já sugeridos não aplica a validação pela dificuldade de obter parâmetros reais como medida de comparação, deste modo a validação feita para o modelo de equilíbrio espacial da soja brasileira apresenta-se como uma ferramenta diferencial.

A validação do modelo é verificada pelo alto grau de correlação entre as estimativas produzidas de exportação, preço e demanda e os valores reais de mercado. A tabela 12 mostra a estimativa pontual para o coeficiente de correlação, o intervalo de confiança de 95% e o valor-p do teste com a hipótese nula de que o coeficiente vale zero. Note que em geral temos que a correlação é significativamente diferente de zero.

**Tabela 12 Coeficiente de correlação entre as estimativas e os valores reais**

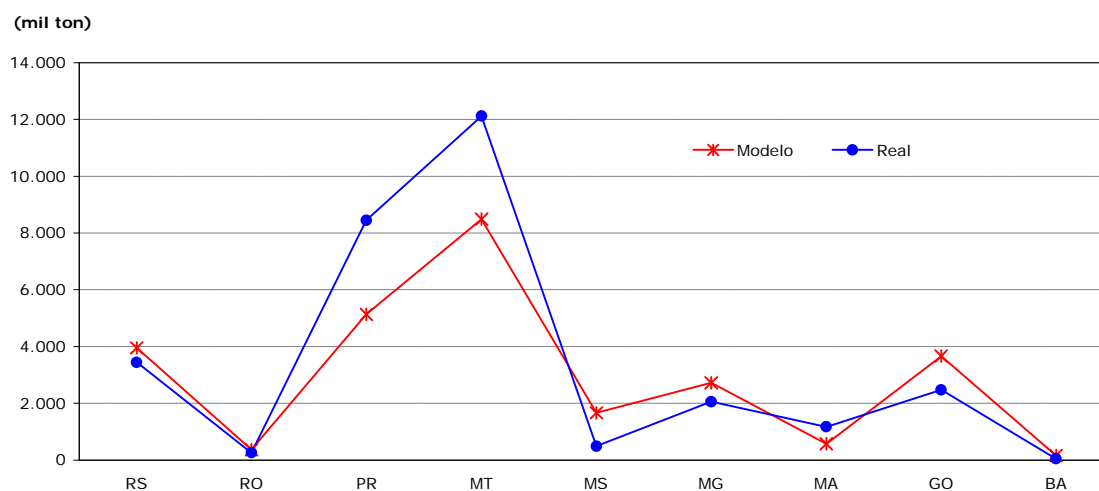
Variável	Correlação	Valor-p
Exportação	0,916	0,0010
Preço	0,789	0,0020
Demanda	0,999	0,0000

O uso de outros testes estatísticos, ao invés da correlação dos dados, não se aplica a este modelo, pois os testes geralmente utilizam suposições de independência entre as observações, que no caso do modelo de equilíbrio de mercado da soja não ocorre. Temos ainda que cada grupo de dados é observado como se tivesse uma mesma distribuição e a análise de variância seria inviável, pois não temos replicação; dado que estas suposições não são satisfeitas pela estrutura dos dados, a correlação dos dados tem grande aplicabilidade.

Os gráficos 10 a 13 mostram os valores das estimativas do modelo de equilíbrio espacial para soja brasileira em comparação com os valores reais. Para Oferta os dados foram confrontados com os dados do Ministério do

Desenvolvimento, da Indústria e do Comércio Exterior (MDIC) em 2002. Já os Preços de Equilíbrio, Demanda Doméstica e Demanda Internacional foram comparados com as cotações realizadas pelo Grupo SAFRAS & Mercado, dados da ABIOVE e da USDA, respectivamente.

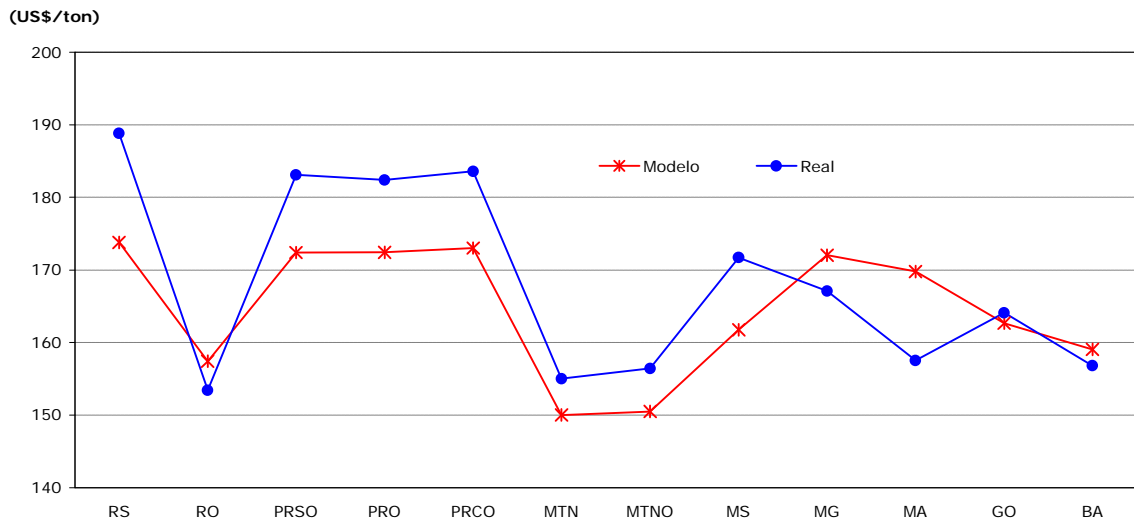
**Gráfico 10 Correlação da Oferta**



No gráfico 10 observamos a distribuição dos dados reais e o gerado pelo modelo. Os dados reais foram incluídos com a sua proporcionalidade, ou seja, foram ponderados pelo volume total exportado pelo país visto que o modelo não abrange todos os estados brasileiros que foram responsáveis pelas exportações. Deste modo verificamos um mesmo comportamento dos dados com pequenas variações indicando uma alta correlação dos dados com um coeficiente estatístico igual a 0,916.

Do mesmo modo podemos observar no gráfico 11 o comportamento dos Preços de Equilíbrio com pequenas inversões de preço para alguns estados brasileiros, onde o modelo indicou preços superiores. Essas pequenas inversões podem ser evidenciadas através do coeficiente estatístico que foi igual a 0,789, sendo este o menor coeficiente encontrado pelas estatísticas.

**Gráfico 11 Correlação do Preço de Equilíbrio**



Já a demanda apresentou o maior coeficiente de correlação (0,999), visto que os dados reais e do modelo tiveram um mesmo comportamento como podemos verificar nos gráficos 12 e 13, com pequenas alterações com relação ao volume comercializado.

**Gráfico 12 Correlação da Demanda Doméstica**

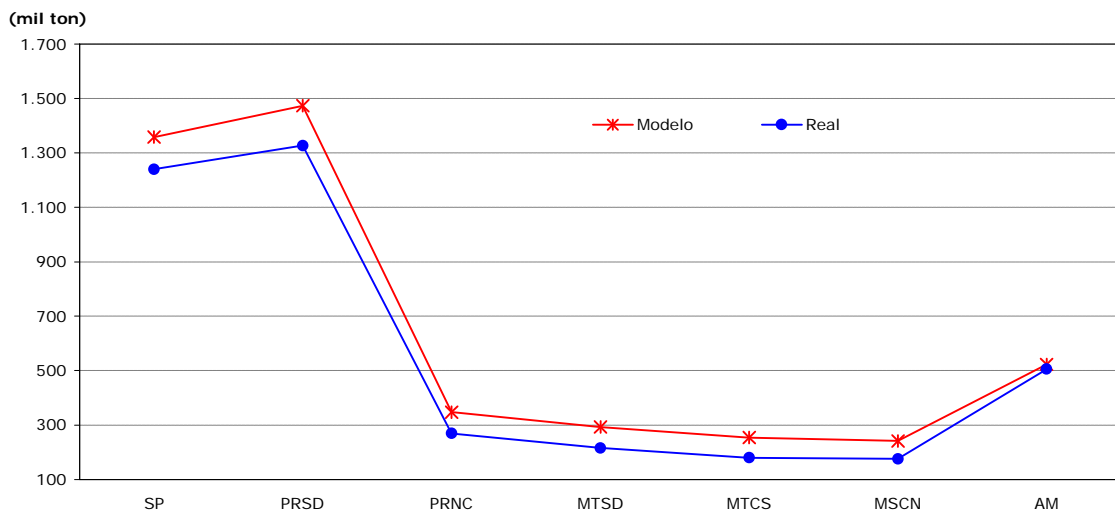
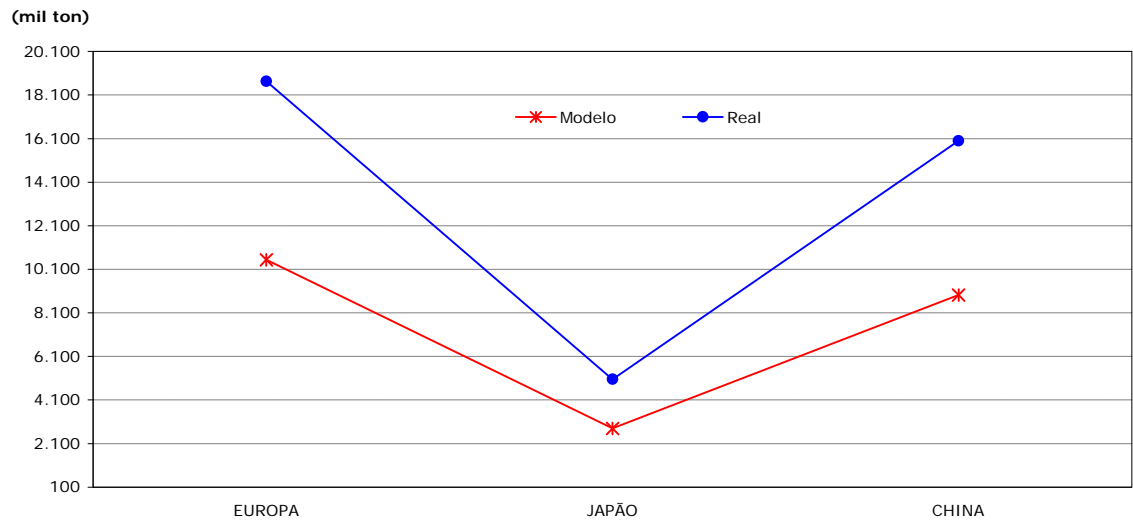


Gráfico 13 Correlação da Demanda Internacional



### 3.3. Simulações

No item a seguir serão discutidos os resultados obtidos pelo modelo de equilíbrio espacial (cenário A) e projeção de um cenário hipotético (cenário B).

Para o cenário B foram feitas alterações nos custos de transportes dos modais ferroviário e hidroviário, dado que estes modais têm uma participação menor no transporte da soja no Brasil e por terem custos menores em média. Adotando-se uma perspectiva conservadora para os investimentos nos modais ferroviário e hidroviário a curto e médio prazo, os custos destes modais foram reduzidos em 10%. Os custos para o modal rodoviário foram mantidos.

O preço médio de comercialização ponderado no cenário A foi de US\$163,21. No cenário B obtivemos um sensível aumento, chegando a US\$163,56. Em relação à "receita bruta" tivemos um aumento de 0,32%, passando de US\$4,362 milhões no cenário A para US\$4,376 milhões no cenário B.

O estado de Mato Grosso teve a maior participação no volume total comercializado, sendo responsável por 32% do volume total (26,75 milhões de toneladas), seguido pelo Paraná e Rio Grande do Sul. Na verdade o que observamos é que as regiões consideradas fronteiras agrícolas em expansão (Centro-Norte do Brasil) foram potencializadas, como também as regiões que apresentam uma "tradição" no cultivo da soja.

A região Centro-Sul foi responsável por cerca de 51,7% da oferta total gerada pelo Cenário B, enquanto que a região Sul (com exceção do Estado de Santa Catarina) captou aproximadamente 34,0% do total ofertado pelo Brasil.

**Tabela 13 Solução do Modelo de Equilíbrio Espacial para Soja – Cenário B**

Oferta	Volume (mil ton)	Preço (US\$/ton)	Demanda	Volume (mil ton)
RS	3.955,0	173,97	SP	1.358,6
RO	363,3	158,22	PRSD	1.474,5
PRSO	1.684,3	172,74	PRNC	347,5
PRO	1.943,9	172,8	MTSD	292,4
PRCO	1.516,0	173,3	MTCS	253,2
MTN	4.860,0	150,6	MSCN	241,6
MTNO	3.642,7	151,3	AM	523,1
MSSO	1.668,7	161,93	Sub-total (a)	4.491,0
MG	2.720,5	171,9	EUROPA	10.546,0
MA	574,1	170,0	JAPÃO	2.795,0
GO	3.665,5	162,9	CHINA	8.922,7
BA	160,9	159,7	Sub-total (b)	22.263,7
<b>Total</b>	<b>26.754,8</b>	<b>-</b>	<b>Total (a+b)</b>	<b>26.754,8</b>

Com a redução dos custos ferroviário e hidroviário o potencial produtivo aumentou (vide tabela 13), decorrente da redução dos custos. O aumento foi de 0,10% no volume ofertado e o maior crescimento na demanda foi observado na demanda internacional (0,10%), os preços de equilíbrio também aumentaram, com exceção para Minas Gerais.

Este aumento na capacidade produtiva é decorrente de uma sensível redução nos fretes, o baixo incremento de comercialização pode ser atribuído a estrutura dos dados do modelo e as suas equações de elasticidade de excesso de oferta-demanda, onde o comportamento das curvas das elasticidades-preço de oferta e demanda (vide figura 3) encontram-se no limite, e caso sejam alterados podem refletir maiores ganhos produtivos.

Entretanto a redução dos custos de transporte teve um impacto direto no aumento do volume comercializado, assim como nos preços de comercialização.

Deste modo com incentivos de políticas públicas do setor de transportes que reestruturem o setor, a competitividade da soja no mercado internacional pode aumentar, otimizando assim a cadeia da *commodity* soja.

O modal rodoviário não teve alteração no cenário B, pois ele tem função de não apenas abastecer o mercado interno e possivelmente os portos de exportação, mas como também alimentando os demais modais, escoando a



produção das regiões de excesso de oferta até modais alternativos (ferroviário e hidroviário). Assim manter ou reduzir os custos rodoviários também podem potencializar a comercialização de soja, pois os aumentos destes custos podem afetar a intermodalidade do transporte.

No cenário A e B o modal rodoviário foi vocacionado para o abastecimento interno e interligação dos modais, que em geral ocorrem para distâncias inferiores a 850 km, sendo um modal complementar ao ferroviário e hidroviário que são utilizados para distâncias superiores, já os modais ferroviário e hidroviário foram ativados para o transporte de longas distâncias com destino ao mercado internacional. (vide figuras 6 - 11).

Os fluxos gerados pelo cenário B foram os mesmos ocorridos no cenário A, apenas os volumes dos fluxos intermodais aumentaram (rodo-ferroviário e rodo-hidroviário).

## 4. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do modelo de equilíbrio espacial e os resultados obtidos para a logística de movimentação da soja brasileira foram satisfatórios. Dessa forma pudemos chegar a resultados que permitem inferir cenários futuros para análise da competitividade da soja brasileira, através das melhorias dos sistemas de transportes associados a novos projetos viários.

As técnicas estatísticas de correlação empregadas para a validação do modelo foram significativas para as variáveis analisadas (oferta doméstica, demanda doméstica, demanda internacional e variável preço de oferta doméstica).

As políticas para o setor de transportes devem ser direcionadas para incentivar a intermodalidade, visto que os modais viários são interdependentes e cada um deles tem uma determinada vocação tendo vantagens e desvantagens com relação às distâncias percorridas, o volume transportado e o *transit time* (tempo percorrido entre origem e destino).

Como visto anteriormente a matriz e a densidade de infra-estrutura de transporte brasileira não é equivalente a situação dos países de mesma extensão territorial, assim redistribuir de maneira eficiente o transporte de carga no Brasil pode potencializar a sua inserção no mercado internacional.

Assim, existe a possibilidade de utilização do modelo para testar diferentes hipóteses, considerando as melhorias nos sistemas de transporte que podem acarretar em uma redução dos custos com frete envolvidos. Ou seja, podemos incluir em um cenário hipotético uma nova rota de escoamento da produção

com a viabilização de um trecho hidroviário ou ferroviário para verificar o seu impacto no contexto geral.

Por exemplo, hoje temos dois exemplos importantes nesta direção. O primeiro é implantação da hidrovía Tocantins-Araguaia, planejada para o transporte da região Centro–Oeste para o Porto de Belém (PA) ou ligando a região até o terminal hidroviário Porto Franco (MA) e seguindo por ferrovia até o Porto de Itaqui (MA). O segundo seria o prolongamento da Ferronorte, ferrovia que interliga o estado do Mato Grosso ao Porto de Santos, até o município de Rondonópolis (MT). Ambos são bons exemplos do esforço que o governo federal tem feito para o setor de transportes brasileiro. Tais investimentos estão em fase embrionária, mas apontam para uma política preocupada em fomentar uma condição mais favorável.

Uma plena adequação do sistema não depende apenas de uma malha viária disponível e em condições de uso, mas também da estrutura complementar, como armazéns e terminais ferroviário, hidroviário e marítimo.

No presente trabalho a hipótese testada foi um cenário hipotético (cenário B), no qual os custos ferroviários e hidroviários tiveram uma redução de 10% em razão das melhorias que possam ocorrer nesses setores. O modelo gerado é um protótipo e muitas aferições podem vir a ser realizadas.

A estrutura teórica deste modelo pode ser expandida, incluindo regiões multi-exportadoras e importadoras e multi-*commodity*.

A introdução de novos dados ao modelo, incluindo mais regiões de excesso de oferta e demanda, portos, demanda internacional e novos fluxos de transporte poderão gerar resultados que mais se aproxime dos valores ótimos que possam garantir uma maior inserção do Brasil no mercado internacional da *commodity* soja.

## 5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABIOVE - Associação Brasileira de Industrias de Óleos Vegetais. Estatísticas do Complexo Soja, Disponível em: <<http://www.abiove.com.br>>. Acesso: Março, 2003.

AMAZÔNIA LEGAL. Disponível em: <<http://www.amazonialegal.com.br>>. Novembro, 2002.

ATA - American Trucking Association. Disponível em: <<http://www.trucking.org>> Acesso: Junho, 2003.

BARROS, J.R.; MODENESI, R.; MIRANDA, E. F. de. "A agricultura e o custo Brasil", *in* **Revista de Política Agrícola**, Brasília, nº6, jan/fev/mar 1997, pp.3-4.

BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERRAUS, A. GAMS: a user's guide, release 2.25, The Scientific Press, 1995, 289p.

CAIXETA FILHO, J.V. "Transporte e logística no sistema agroindustrial", *in* **Preços Agrícolas: mercados agropecuários e agribusiness**, v.10, nº119, set 1996, pp.2-7.

CÂMARA, G.M.S. "A Cultura da Soja" (notas de aula), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- Universidade de São Paulo. Piracicaba-SP, agosto, 1996, 28p.

CANZIANI, J.R. "Complexo soja: os desafios do setor no Brasil" *in* **Óleos & Grãos**, São Caetano do Sul, v.5, nº 26, set/out 1995, pp.56-57.

- CBTU - Companhia Brasileira de Trens Urbanos. Disponível em :  
<<http://www.cbtu.gov.br>>. Acesso: Dezembro, 2002.
- CEPEA - Centro de Estudos Avançado em Economia Aplicada. Disponível em:  
<<http://cepea.esalq.usp.br>>. Acesso: Junho, 2003.
- CHEN, C.; McCARL, B. A.; CHANG, C. Spatial Equilibrium Modeling with Imperfectly Competitive Markets: An Application to Rice Trade. Disponível em:  
<<http://ageco.tamu.edu/faculty/mccarl/papers/736.pdf>>. Acesso: Agosto, 2003.
- CNT – Confederação Nacional do Transporte. Disponível em  
<<http://www.cnt.org.br>>. Acesso: Fevereiro, 2003.
- CVRD – Companhia Vale do Rio Doce. Disponível em:  
<<http://www.vale.com.br>>. Acesso: Agosto, 2002.
- DENNIS, S. M. "Using spatial equilibrium models to analyze transportation rates: an application to steam coal in the United States" *in* **Transportation Research**, Part E, v.35, 1999, pp.145-154.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, **Agronegócio da Soja**, 2000. Disponível em:  
<<http://www.cnpso.embrapa.br/rectec/aspagro.htm>>. Acesso: Fevereiro, 2003.
- FELLIN, L. R. **International corn and soybean transportation system: quadratic programming models** . 1993, 134p. Tese (Doutorado em Economia Agrícola) - Texas A&M University, College Station.
- FLEURY, P.F. **Gestão Estratégica do Transporte**, 2002. Disponível em:  
<<http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-public.htm>>. Acesso em: Janeiro, 2004.
- FNP Consultoria & Comércio. **Agriannual 2003 – Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo-SP, out 2002.

- FULLER, S. **Effect of Improving South American Transportation System on U.S. and South American Corn and Soybean Economies**, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, out 2000, 40p.
- GABRIEL, S.A.; MANIK,J.; VIKAS, S. "Computational Experience with a Large-Scale, Multi-Period, Spatial Equilibrium Model of the North American Natural Gas System" *in Networks and Spatial Economics* n°3, 2001, pp.97-122.
- GARDINER, W.H., RONINGEN K. L. **Elasticities in the Trade Liberalization Database**. Washington DC: U.S. Departament of Agriculture, Econ. Res. Serv. Staff Report n°89, 1989.
- GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. **Anuário Estatístico dos Transportes - 2001**. Brasília: GEIPOT.
- GOMES, M.F.M. **Efeitos da Expansão da Produção de Soja em Duas Regiões do Brasil**. 1990, 105p. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- GOODMAN, D.; SORJ, B.; WILKINSON, J. **From Farming to Biotechnology: a theory of agro-industrial development**. Oxford, Basil Blackwell, 1987.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso: Março, 2003.
- KOO, W. W., LARSON D. W. **Transportation Models for Agricultural Products**. Westview Press, 1985, 211p.
- LÍCIO, A. "Os eixos estruturadores e dos corredores de transportes". **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v.9, n.4, pp.3-4, 1995.
- LIEB, R. C. **Transportation: the domestic system**. Reston: Reston Publishing Co., 1978. cap.7.

McCARL, B.A., Spreen, T.H. **Applied Mathematical Programming Using Algebraic Systems**. Texas A&M University. College Stations, Texas, 2001. (mimeo).

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br>>. Acesso: Maio, 2003.

MELQUIADES, J. A. R.; LUNA, H. P. L. "Administração de dados e cálculos de equilíbrio econômico espacial no setor agrícola" in **Anais do II Simpósio de Pós-Graduação em Ciência da Computação**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, mai 1998. Disponível em: <<http://www.dcc.ufmg.br/pos/html/spg98/anais/jarm/jarm.html>>. Acesso: Agosto, 2003.

MINISTERIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br>>. Acesso: Abril, 2003.

MÜLLER, G. **Complexo Agroindustrial e modernização agrária**. São Paulo: HUCITEC: EDUC, 1989, 149p.

MURTAGH, B.A.; SAUNDERS, M.A. **MINOS 5.5 User's Guide**. Technical Report SOL 83-20, Stanford University. Stanford, Califórnia. 1983, 150p.

NAZÁRIO, P.; WANKE, P.; FLEURY, P F. **O Papel do Transporte na Estratégia Logística**, 2000. Disponível em: <<http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-public.htm>>. Acesso em: Janeiro, 2004.

**OILSEEDS: World Markets and Trade**. Washington: U.S. Department of Agriculture, 2000. Circular Series, FOP 06-00.

OJIMA, A.L.R.O. "Analysis of the logistical movement and competitiveness of soybean in the brazilian center-north region: an application of a spatial equilibrium model with quadratic programming", in **Anais do IV International Conference on Agri-food Chain/Networks Economics**

- and Management**, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade Estadual de São Paulo (USP), Ribeirão Preto - São Paulo, 29-31/out/2003, p.24.
- OMOREGIE, E. M.; THOMSON, K. J. "Measuring regional competitiveness in oilseeds production and processing in Nigeria: a spatial equilibrium modelling approach" *in Agricultural Economics*. v.26, 2001, pp.281–294.
- PORTUGAL, L.; JÚDICE, J. "A Hybrid algorithm for the solution of a single commodity spatial equilibrium model" *in Computers Ops Res*. v.23, nº 7, 1996, pp.623-639.
- PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986, pp.81-90.
- RODRIGUES, T. M. **A Hidrovia Tietê-Paraná como Tronco de Transportes Internacionais do Mercosul**. UNEB – União Educacional de Brasília, Brasília, 1998.
- ROESSING, A.C.; GUEDES, L.C.A. "Aspectos econômicos do complexo soja: sua participação na economia brasileira e evolução na região do Brasil Central", *in: Cultura da soja nos cerrados*. Piracicaba: POTAFOS, 1993, 535p.
- SAFRAS & Mercado. Disponível em: <<http://www.safras.com.br>>. Acesso: Fevereiro, 2003.
- SAMUELSON, P.A. "Spatial Price Equilibrium and Linear Program", *in American Economic Review*, v.42, 1952, pp.283-303.
- SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE FRETES. Disponível em: <<http://sifreca.esalq.usp.br>>. Acesso: Fevereiro, 2003.
- SOARES, M.G.; CAIXETA FILHO, J.V. "Características do mercado de frete rodoviário para cargas agrícolas", *in Preços Agrícolas: mercados agropecuários e agribusiness*, v.11, nº 121, nov 1996, pp.21-25.



- SOARES, M.G.; GALVANI, P.R.C.; CAIXETA FILHO, J.V. "Transporte de soja em grãos e farelo de soja no Brasil", in **Preços Agrícolas: mercados agropecuários e agribusiness**, v.11, nº 126, abr. 1997, pp.26-29.
- STÜLP, V.J.; PLÁ, J.A. **Estudo do setor agroindustrial da soja**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992. 168p.
- TAKAYAMA, T.; JUDGE, G.G. **Spatial and Temporal Price and Allocation Models**. Amsterdam: North Holland Publishing Co., 1971.
- TV LIBERAL. "Soja-Mudança no Perfil da Agricultura", 2000. Disponível em: <<http://www.tvliberal.com.br/verpara/edicao1/soja.htm>> Acesso: Setembro, 2002.
- WAQUIL, P.D.; COX, T.L. "Spatial Equilibrium with Intermediate Products: Implementation and Validation in the MERCOSUL" in **Agricultural Economics**, Staff Paper Series, nº 388, 1995. Disponível em: <<http://www.aae.wisc.edu/www/pub/sps/stpap388.pdf>>. Acesso: Agosto, 2003.
- WRIGHT, C.L. "Análise econômica de transporte e armazenagem de grãos: estudo do corredor de exportação de Paranaguá. Brasília" in **GEIPOT**, 1980, 187p.
- YANG C. W.; HWANG M. J.; SOHNG S. N. "The Cournot competition in the spatial equilibrium model" in **Energy Economics**, v. 24, 2002, pp.139-154.