

Ref. Bibliog.:

LIMA, L. M.; BRANCO, J. E. H.; CAIXETA FILHO, J.V. Um modelo dinâmico para otimização do escoamento de soja em grão (Compact disc). In: XLIII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural. **Anais**. Ribeirão Preto, Julho 2005.

AUTORES:

Lílian Maluf de Lima

Aluna de Doutorado em Economia Aplicada da ESALQ/USP

E-mail: lmlima@esalq.usp.br

Endereço: Rua Elvira Boyes, 355, Jd. Petrópolis - Piracicaba/SP.

CEP: 13420-670

José Eduardo Holler Branco

Aluno de Mestrado em Economia Aplicada da ESALQ/USP

E-mail: jhollerbranco@yahoo.com.br

Endereço: Rua Martins Everaldo Neto, 221, Jd. Moratto - Piracicaba/SP.

CEP: 13400-000

José Vicente Caixeta Filho

Professor Titular do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da ESALQ/USP

E-mail: jvcaixet@esalq.usp.br

Endereço: Departamento de Economia, Administração e Sociologia -ESALQ/USP

Av. Pádua Dias, 11 - Piracicaba/SP.

CEP: 13418-900

Um Modelo Dinâmico para Otimização do escoamento de Soja em Grão

Resumo: O deslocamento da fronteira agrícola nacional, assim como os sucessivos aumentos da produção de grãos vêm realçando as lacunas da infra-estrutura de transporte, da rede armazenamento e dos terminais portuários no Brasil. Frente às dificuldades logísticas para o escoamento de soja no país, este estudo objetivou o desenvolvimento de um modelo matemático, com o uso de ferramentas de Pesquisa Operacional, que auxilie o processo de escolha do período e rota ideal para o escoamento de soja destinada à exportação. Para testar o modelo, foram analisadas várias rotas com origem no Estado de Mato Grosso e destino a Rotterdam, sendo consideradas as variações sazonais dos valores de fretes para soja no período de março a novembro de 2003, o custo de armazenamento até o período em que o produto seria deslocado, os custos portuários e os fretes marítimos até Rotterdam. As cotações da *commodity*, ao longo de 2003, também participaram como variáveis exógenas. O modelo indicou as rotas com destino a Santos/Rotterdam e as rotas com destino ao Porto de Itaquí/ Rotterdam como as alternativas de menor custo. O modelo também alocou a movimentação de soja em diferentes períodos, de forma a maximizar a receita (preço esperado menos custos logísticos).

Palavras-chave: soja, transporte, logística.

1. Introdução

A produção e a exportação de grãos brasileiros, especificamente de soja, cresceram significativamente nos últimos 5 anos. Estatísticas fornecidas pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2003) apontam um crescimento de 61,50% na produção de soja no período compreendido entre 1998 e 2003.

Entretanto, a logística nacional de escoamento desta *commodity* não tem acompanhado de forma satisfatória esse desempenho. Estudos realizados pelo Grupo de Estudos de Integração de Política de Transportes (GEIPOT, 2004), apontaram que o Brasil tem um gasto adicional de R\$ 132 milhões ao ano somente em transporte de soja devido à má distribuição modal, onde as rodovias são responsáveis pelo transporte de 80% do total produzido. Além disso, a Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2004) relatou que o estado de preservação de 82% das rodovias brasileiras está entre péssimo e ruim.

Mesmo não tão característicos do Brasil como o modal rodoviário, os demais modais também representam alguns entraves logísticos no escoamento de grãos em geral. No caso das ferrovias, embora boa parcela tenha sido privatizada, implicando o investimento de infra-estrutura das mesmas e de máquinas locomotivas, diversas distorções apareceram e ainda não foram corrigidas. Dentre elas, cita-se o “direito de passagem”. Várias empresas foram criadas, cada uma com sua respectiva área de domínio. Quando ocorre a necessidade de se passar por uma linha que não seja de propriedade de uma empresa, deve-se pagar uma espécie de pedágio, que encarece o preço do frete. Isso faz com que nem sempre o caminho mais curto possa ser o mais barato, o que reduz a eficiência o setor. Com relação ao modal hidroviário, não há no Brasil uma política hidroviária sólida, capaz de promover esse meio de transporte como uma solução viável para regiões de boa navegação. As instalações portuárias marítimas e fluviais apresentam-se precárias além de não proporcionar ligações satisfatórias e/ou convenientes com outros modais.

Diante desses fatores, tornam-se explícitas as perdas físicas de grãos no trajeto entre a lavoura e o porto, em caminhos longos, em estradas deterioradas e na demora no escoamento e na

comercialização do produto em vias modais alternativas. Há ainda que se ressaltar a relevância dessas perdas decorrentes da falta de infra-estrutura portuária e de armazenamento.

A realidade portuária apresenta-se bastante complexa diante dos problemas logísticos que envolvem o escoamento de grãos brasileiros. Destaquem-se as razões: falta de investimento no setor, intermináveis filas à espera de embarques, conseqüência esta da falta de viabilização do acesso às instalações, burocratização do sistema que envolve diversos ministérios e ausência de uma marinha mercante brasileira responsável por frotas de navios brasileiros, o que torna a exportação brasileira uma responsabilidade de empresas estrangeiras.

A falta de silos para armazenagem de grãos representa um grande entrave logístico à medida que se criam alternativas de armazenamento que não são favoráveis ao acondicionamento do produto e à agilidade do processo de escoamento. Dados da CONAB informam que o Brasil possui capacidade instalada para armazenar cerca de apenas 80% de sua produção de grãos total e que, veículos de transporte como caminhões, trens e embarcações tornam-se silos móveis para armazenar a produção nacional até a sua chegada às indústrias ou aos portos para exportação.

A falta de silos na fazenda resulta em um pico de demanda por serviços de transporte no período de colheita e como conseqüência observa-se a elevação dos valores de frete, principalmente, entre os meses de março a junho.

A baixa capacidade de armazenamento dificulta os ganhos especulativos advindos da variação sazonal dos preços de *commodities* agrícolas, assim como a baixa capitalização do produtor nacional.

Nesse contexto, torna-se evidente a busca de ferramentas que auxiliem as decisões referentes ao sistema de escoamento de grãos e a época de comercialização da sua produção. A aplicação e difusão de mecanismos de auxílio à tomada de decisão, como modelagem e pesquisa operacional podem contribuir de maneira decisiva para a diminuição dos custos logísticos e também para a competitividade dos produtos nacionais, tentando assim minimizar os efeitos das lacunas da infra-estrutura.

O principal objetivo deste trabalho é apresentar um modelo matemático dinâmico, envolvendo os princípios de programação linear, que auxilie a tomada de decisão de agentes envolvidos com a movimentação de soja para exportação, com o intuito de apresentar uma ferramenta para seleção da melhor rota e período de deslocamento do produto, de forma a maximizar a diferença entre receita esperada e custos logísticos.

Esta pesquisa visa também apontar alguns custos logísticos (armazenamento, transporte interno, custos portuários, fretes marítimo) referentes às principais rotas de escoamento de grãos do Estado de Mato Grosso.

2. A importância da soja

Desde meados da década de 90 o Brasil tem acompanhado a substituição da pecuária pelo setor agrícola, destacando-se os produtos soja e algodão, muito embora o primeiro setor tenha apresentado extrema importância ao desenvolvimento nacional. Tal fato pode ser verificado em estudos desenvolvidos por Fuller (2004), onde observou que, historicamente a produção de soja brasileira era concentrada na região sul do país, próxima aos portos localizados na Costa Atlântica, distando entre 350 e 600 quilômetros das zonas produtoras. Entretanto, o mesmo estudo apontou que, passadas 2 décadas, a produção foi alocada para a região central do Brasil, mais especificamente para o Estado do Mato Grosso, tornando-o o epicentro da produção nacional.

Para Schnepf (2004) a importância da soja no Brasil pode ser verificada por meio da área colhida. Em suas pesquisas verificou-se que entre os anos de 1969 e 1971 a média da área colhida representava 2 milhões de *hectares* e entre os anos de 1989 e 1991 esse índice passou para 10 milhões de *hectares*. Esses dados enfatizam a crescente participação da soja brasileira no mercado internacional além de assegurar, em paralelo, o crescimento de 10% da produção nas últimas décadas.

Conforme dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC, 2004), a cultura da soja tem-se destacado no cenário econômico brasileiro a medida em que passou a representar cerca de 10% das exportações nacionais, significando um aumento na geração de divisas e no fornecimento interno de alimentos.

Cabe ressaltar que uma dos fatores de grande relevância para o incentivo ao crescimento das exportações de soja a partir de 1997 se refere à adoção da Lei Kandir. Figueiredo (2003) salienta que o efeito de tal lei beneficiou a exportação de grãos e demais produtos primários em detrimento das exportações de produtos com algum grau de processamento, como é o caso do farelo de soja. Assim, o incentivo ocorreu na forma de isenção do ICMS dos grãos destinados à exportação, aumentando a competitividade dos grãos brasileiros no mercado internacional.

Finalmente, devido sua relevância na produção nacional e regional, e também, de sua importância para a economia nacional e internacional, optou-se por enfatizar nessa pesquisa a *commodity* soja, abordando aspectos relacionados às dificuldades logísticas de seu escoamento que, infelizmente não apresenta um desenvolvimento equivalente ao de sua produção.

2.1 O papel da rede de armazenamento de grãos e sua importância no sistema de movimentação de grãos

O processo de produção de grãos apresenta estreita relação com variáveis climáticas, o que ajuda a explicar o caráter sazonal e irregular da oferta destes produtos. No entanto, a demanda por alimento exibe um comportamento mais uniforme e contínuo. O armazenamento da produção de grãos é uma etapa necessária para garantir o abastecimento regular de alimentos. Além disso, a rede de armazéns é responsável pelo bom funcionamento de todo sistema de escoamento de grãos e ainda exerce grande influência nas estratégias de formação de preço.

O armazenamento da produção é uma etapa necessária na cadeia de suprimento de grãos. Além disso, a capacidade de retenção da produção em locais estratégicos, após a colheita, propicia a distribuição e escalonamento do transporte de grãos durante o ano, amenizando os picos de demanda. Segundo Soares et al. (1997), no Brasil ocorre um expressivo aumento da demanda por fretes para cargas agrícolas durante o escoamento da produção de soja, normalmente, entre os meses de março a junho. Durante este período também ocorre o escoamento de grande parte da produção de açúcar e milho, fatores estes também responsáveis pela elevação dos valores de frete. Os autores alertam sobre as consequências da escassez de unidades de fazenda no Brasil, argumentando que esta configuração da rede de armazenamento nacional diminui o espaço temporal para o escoamento da produção.

Além da conservação e distribuição uniforme de alimentos o sistema de armazenamento de grãos tem papel importante nas políticas governamentais de regulação de preço. A oferta regular de grãos é uma estratégia antiinflacionária durante o período de entressafra. Em contrapartida, os armazéns também permitem a retenção da produção, propiciando a formação de estoques especulativos (Puzzi, 1986).

Considerando as atividades que apresentam caráter de produção sazonal, fica evidente a necessidade de armazenamento da produção, para garantir o fornecimento do produto durante os períodos de pouca oferta (Ballou, 1995).

2.3 Portos brasileiros

Os portos constituem um papel fundamental e estratégico a ser desempenhado como concentradores de significativos volumes de carga e como intermediários de todo o processo de exportação, assumindo considerável participação em toda a cadeia logística do comércio exterior como facilitadores dos canais de comercialização.

Goebel (2004) admite que a posição estratégica que os portos assumem no sistema de transporte e no comércio internacional está pautada nas seguintes premissas:

- os portos correspondem aos pontos de início e término do transporte marítimo, meio de transporte que movimenta o maior volume de carga ao longo de toda a cadeia de transporte (cerca de 95%) e, conseqüentemente, corresponde à melhor maneira de alcançar economias de escala;
- admitindo que matérias-primas e componentes são importados por indústrias que estas destinarão uma parcela de seus produtos à exportação, é possível montar estratégias que minimizem custos de produção;
- os portos são os maiores e mais importantes pontos de interface dos modos de transporte, em que estão situados todos os agentes das áreas pública e privada, seja direta ou indiretamente relacionados ao comércio internacional, tais como agências de navegação, bancos, transitários, empresas de seguros, fabricantes de embalagens e funcionários da Receita Federal, tornando-os importantes centros de informação.

Diante dessas funções que os portos podem assumir, cabe salientar que os portos se desenvolvem a partir de uma política e de uma estratégia portuária, além da integração da organização e das atividades portuárias, sendo esses critérios específicos em cada porto. Bulhões & Caixeta-Filho (2001) enfatizam que cada porto trata sistemas e produtos de maneira diversa e, por sua vez, cada produto tem seu sistema de operação próprio, com atuação comercial e operacional distintas.

No Brasil, o sistema portuário conta com aproximadamente 47 portos, sendo a grande maioria de navegação marítima (com destaque aos Portos de Santos e Paranaguá) e demais de navegação interior (Hidrovias, 2004). Destaquem-se alguns dos principais portos: Porto de Santos (SP), de Paranaguá (PR), de Itaquí (MA), de Vitória (ES), de São Francisco do Sul (SC), de Rio Grande (RS), de Salvador (BA), do Rio de Janeiro (RJ) e os portos interiores de Itaquí (MA) e de Itacoatiara (AM). Na Tabela 1, destacam-se os 7 principais portos no que se refere à capacidade de movimentação de graneis sólidos, especificamente soja em grão.

Tabela 1. Principais portos brasileiros de movimentação de soja em grão e respectivas quantidades exportadas nos anos de 2003 e de 2004.

Porto	Soja em grão (t)	
	2003	2004
Paranaguá (PR)	5.733.945	5.140.054 ⁱⁱⁱ
Santos (SP)	5.699.835	5.530.711 ⁱⁱⁱ
Rio Grande (RS)	3.731.258	2.290.075 ⁱⁱⁱ
Vitória (ES)	1.649.516	2.173.078 ⁱⁱⁱ
Itacoatiara (AM)	Mais que 1.200.000 ⁱ	Em média 1.500.000 ⁱ
Itaqui (MA)	866.948	1.014.648 ⁱⁱ
São Francisco do Sul (SC)	846.161	1.090.260 ⁱⁱⁱ
Total	19.727.663	18.738.826

Fonte: SECEX (2003)

i Fonte: porto de Itacoatiara – contato pessoal

ii Fonte: porto de Itaqui – contato pessoal (referente ao período de janeiro a setembro de 2004).

iii valores referentes aos período de janeiro a novembro de 2004.

Na Tabela 1 são apresentados os principais portos brasileiros responsáveis pela movimentação de aproximadamente 20 milhões de toneladas de soja em grãos no ano de 2003 e 19 milhões de toneladas desse produto em 2004, considerando valores até novembro e alguns até o mês de setembro. Conforme os dados da tabela, observa-se que os portos de Santos (SP) e Paranaguá (PR) exportam praticamente a mesma quantidade, correspondendo a 28,90% e a 29,06% do total exportado em 2003, respectivamente, e a 29,51% e a 27,42% do total exportado em 2004 (até novembro e setembro para alguns dados).

O presente trabalho apresenta um enfoque aos corredores de exportação originados no Estado do Mato Grosso com destino a diversos portos brasileiros e finalmente, ao Porto de *Rotterdam* (Holanda). Diante de tal fato, serão destacados os portos brasileiros considerados viáveis para exportação da soja em grão, sendo então os considerados no estudo em questão e que apresentam grande movimentação de soja em grão para exportação originada a partir de cidades do Estado do Mato Grosso (grande produtor): Santos (SP), Paranaguá (PR), Itaqui (MA), Itacoatiara (AM) e Vitória (ES).

2.4 Variação no valor do frete da soja

Diversos fatores são responsáveis pela variação no valor do frete dos produtos. Tais fatores resumem-se em variação no preço do combustível, período de safra e entressafra do produto, no caso agrícola, excesso e escassez de veículos para transporte, eventuais conflitos como greves, que podem interditar alguma via de acesso encarecendo o frete, entre outros. A soja em especial, além de se sujeitar a essas variações, em sua safra promove o aumento do frete de diversos produtos, como por exemplo, o açúcar, o milho e o farelo pelo fato de demandar grande parte do volume de veículos para seu escoamento, implicando na falta dos mesmos para o transporte de outros produtos. Dados de frete e de análise desse mercado fornecidos pelo Sistema de Informações de Frete para Cargas Agrícolas (SIFRECA) permitem a realização de uma análise do comportamento do frete da soja ao longo do ano de 2003 (vide Figuras 2, 3 e 4).

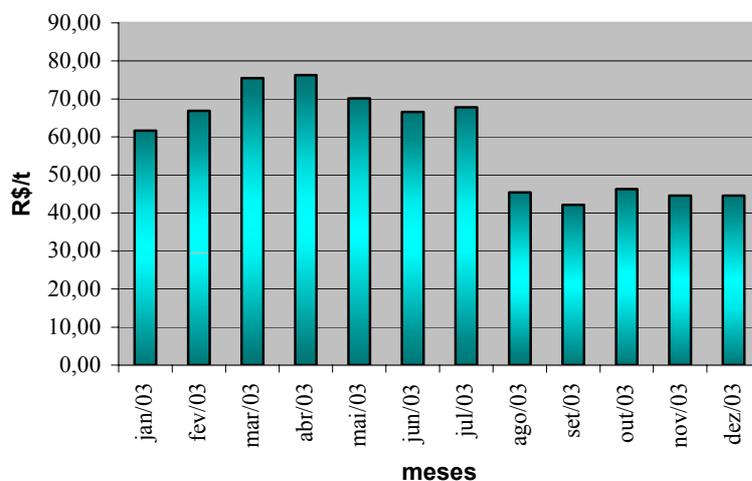


Figura 2 – Variação mensal do valor do frete rodoviário praticado no Brasil ao longo de 2003.
Fonte: SIFRECA, 2003

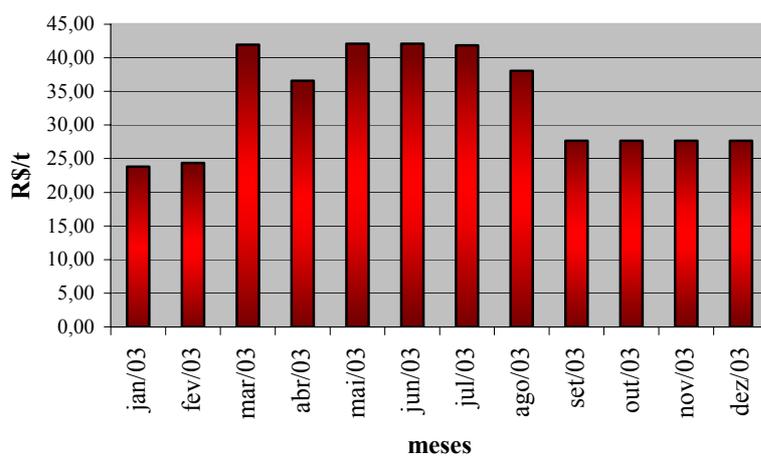


Figura 3 - Variação mensal do valor do frete ferroviário praticado no Brasil ao longo de 2003.
Fonte: SIFRECA, 2003.

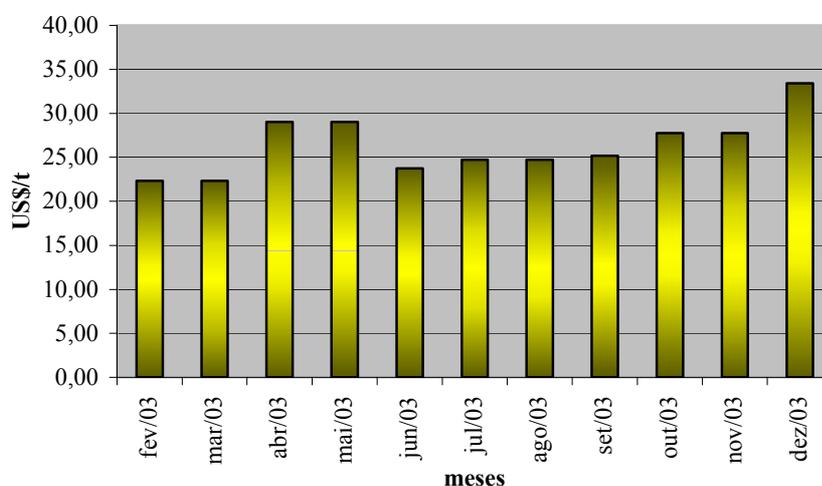


Figura 4 - Variação mensal do valor do frete marítimo ao longo de 2003

Fonte: SIFRECA, 2003

* corresponde à análise de rotas com origem em Santos (SP) e destino à Europa

O período referente a fevereiro/03 foi marcado por um aumento no preço do combustível e pelo início da safra da soja, principalmente no Estado do Mato Grosso. Tal fato proporcionou aumento da comercialização desse produto, ocasionando um aumento significativo no valor de seu frete. No caso do frete rodoviário (vide Figura 2), análises do SIFRECA apontaram para um aumento de 13% em rotas com origem em nos Estados de Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais e destinos e essas mesma regiões. Com relação ao frete ferroviário (vide Figura 3), observaram-se aumento de até 12% em rotas com origem e destino no Estado do Paraná. Já o frete marítimo (vide Figura 4) por sua vez, apresentou uma diminuição de 11% no valor do frete devido à escassez de soja no porto e conseqüente excesso de navios. Talvez se o Brasil não apresentasse dificuldades logísticas no escoamento de soja, principalmente até o porto, o frete marítimo poderia observar aumento no mesmo período do frete ferro e rodoviário (quando esse aumento se referisse ao início da safra).

O período de março/03 foi de fato o período considerado como de início da safra da soja. O volume nesse período apresentou-se tão grande que filas de caminhões chegaram a marcar 115 km a partir do Porto de Paranaguá. Obviamente, faltaram veículos para o transporte de soja, o que promoveu o aumento no valor do frete não somente desse produto mas também de produtos como milho, arroz e frutas. O frete rodoviário apresentou aumentos entre 4% e 36% em rotas com origem no Centro-Oeste e Bahia e destino aos diversos estados do país. O frete ferroviário apresentou aumento de 23% em rotas no interior do estado do Paraná e o marítimo apresentou-se inalterado nesse período.

O período de abril/03 também foi marcado pelo alto volume de soja escoada e por conseqüentes filas (de até 110 km) de caminhões à espera de embarques de navios no porto de Paranaguá. Isso proporcionou aumentos de até 32,50% no valor do frete rodoviário em rotas com origem nos estados do Mato Grosso e Rio Grande do Sul e diversos destinos. O frete ferroviário nesse período apresentou-se constante. Embora o período de abril de 2003 tenha sido também

caracterizado pelo início da Guerra do Iraque que, a princípio inibiu o embarque de alguns navios com grãos, o fator responsável pelo aumento de 30% no valor do frete foi de fato o alto volume de soja escoada.

O período de maio/03 teve como fator em destaque, a queda de aproximadamente 5% no valor do preço do combustível. Foram relatadas diminuições no valor do frete rodoviário da soja, porém, não em virtude de tal evento, mas sim, devido ao final da colheita da soja, e das cargas vendidas por meio de contratos. Os fretes ferroviários apresentaram aumento médio de R\$ 6,00 comparando-se os meses de abril e de maio (vide gráfico 2) devido muitos contratos ainda não terem sido finalizados. O frete marítimo apresentou-se constante nesse período.

O período de junho/03 não apresentou acontecimentos significativos no mercado de frete de soja. Cabe ressaltar que embora o preço do combustível tenha sofrido redução no período anterior, muitos transportadores, conforme informações do SIFRECA, alegaram a não redução do frete em virtude de não apresentarem repasses relativos aumentos anteriores. Ainda nesse período, o excesso de navios disponíveis para o transporte de soja, que até então se encontrava no pico da safra, proporcionou uma redução de 15% no valor do frete marítimo.

O período de julho/03 foi marcado por um aumento no valor do pedágio. Tal evento proporcionou o aumento de até 26% no valor do frete rodoviário a partir dos estados do Mato Grosso e do Paraná com destino aos estados de Minas Gerais, Paraná e Mato Grosso. Com relação ao frete marítimo, este apresentou um aumento de 6% mas, destaca-se a falta de navios como agente de variação desse frete. Já o frete ferroviário apresentou-se constante.

O período de agosto/03 se caracterizou pela baixa movimentação de soja que proporcionou o excesso de caminhões para transporte e conseqüente redução nos valores de frete rodo e ferro. Tal fator ocasionou a redução média de 10% no valor do frete rodoviário em rotas com origem e destino nos estados do Mato Grosso, Bahia e Goiás. O frete marítimo não apresentou alterações para esse período.

O período de setembro/03 também foi marcado por uma movimentação peculiar de grãos caracterizando uma redução média de 14% no valor de frete rodoviário em rotas com origem e destino no Estado do Mato Grosso. Já o frete ferroviário apresentou redução no valor do frete devido ao vencimento de contratos para transporte da safra de soja não possuindo assim, volumes significativos de modo a elevar a concorrência pelo transporte. O frete marítimo por sua vez apresentou um aumento de 5% em função da alta demanda de navios para escoamento de outros produtos.

O período de outubro/03 foi marcado por aumentos nos valores do frete rodoviário e marítimo. O primeiro apresentou aumento de 10% devido aos volumes de soja que necessitaram ser escoados sob emergência aos portos devido ao curto período que os navios aí permaneceram. Aliado a esse fator repentino, verificou-se baixa oferta de caminhões disponíveis ao escoamento de grãos até o porto. O segundo também apresentou aumento de 10% mas foi em conseqüência da alta demanda da China por soja aliada à falta de navios. Destaque-se que o frete ferroviário apresentou-se constante a partir de outubro/03 até dezembro/03 em função da redução significativa do volume escoado de soja (final de safra) e em função do encerramento de contratos para transporte.

O período de novembro/03 e Dezembro/03 se caracteriza pela baixa movimentação de mercadorias em geral, principalmente devido ao período de festas de final de ano. Muitas transportadoras aproveitam essa época para realizar reparos e manutenção em seus veículos. Assim, os valores do frete ferroviário e do marítimo apresentaram-se inalterados em relação ao período anterior. Já o frete rodoviário de soja apresentou uma diminuição média de 17% em rotas

originadas no Estado do Mato Grosso e destino aos estados de São Paulo e de Minas Gerais. Tal fato ocorreu em função do excesso de caminhões disponíveis para o transporte.

A partir dessas análises de mercado de frete, realizadas pelo SIFRECA (2003) pode-se entender alguns dos principais fatores que proporcionam a variação no valor do frete e assim, identificar alguns dos gargalos no escoamento do transporte de produto, que nesse estudo refere-se à soja em grão.

3. Metodologia

A avaliação da máxima receita possível para o transporte de soja em grãos a partir de cidades do Estado do Mato Grosso destinadas a Rotterdam (Holanda) e das melhores vias alternativas para o escoamento desse produto está baseada num modelo de programação linear. O objetivo da utilização desse modelo é obter a distribuição ótima dos fluxos de soja em grão entre os pólos de origem (cidades do Estado do Mato Grosso), passando pelos portos considerados, chegando até Rotterdam (via marítima). Para tanto, buscou-se apresentar um modelo matemático que pudesse auxiliar na otimização do escoamento de tal produto. Conseqüentemente obtiveram-se resultados, abordados no próximo capítulo, que permitiram apontar as melhores rotas e período que promovem a maximização da diferença (Z) entre a receita e os custos logísticos considerados (frete interno, armazenagem, custos portuários e frete marítimo) de forma a se respeitar as seguintes premissas:

- a movimentação de soja a partir da origem i deve ser igual a produção de soja da mesoregião referente a origem i , vide restrição (1);
- a quantidade de soja escoada pelas rotas r não deve exceder a capacidade de movimentação da rota r , no mês j , vide restrições (2), (3), (4), (5), (6) e (7).

Para tal, foi utilizado o Software *General Algebraic Modeling System* (GAMS), aplicado à seguinte estrutura matemática:

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^5 \sum_{r=1}^7 \sum_{j=1}^8 P_j X_{irj} - C_{irj} X_{irj} \quad (1)$$

sujeito a:

$$\sum_{r=1}^7 \sum_{j=1}^8 X_{irj} - O_i = 0, \text{ para todo } i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{r=1} X_{irj} + \sum_{i=1}^5 \sum_{r=2} X_{irj} - SA \leq 0, \text{ para todo } j \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{r=3} X_{irj} + \sum_{i=1}^5 \sum_{r=4} X_{irj} - PA \leq 0, \text{ para todo } j \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{r=5} X_{irj} - E \leq 0, \text{ para todo } j \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{r=6} X_{irj} - F \leq 0, \text{ para todo } j \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{r=7} X_{irj} - G \leq 0, \text{ para todo } j \quad (7)$$

sendo:

Z = função referente à diferença entre receita (US\$/t) e custos logísticos (US\$/t) envolvidos no escoamento de soja em grão a partir do Estado do Mato Grosso;

P_j = preço da soja no mês j ;

C_{irj} = custos logísticos totais (armazenagem, frete até o porto, custos portuários, frete marítimo) para movimentação de soja da origem i , pela rota r , no mês j ;

X_{irj} = quantidade de soja transportada da origem i , pela rota r , no mês j ;

O_i = oferta de soja da mesoregião referente a origem i ;

SA = capacidade de movimentação de soja em grãos pelo porto de Santos;

PA = capacidade de movimentação de soja em grãos pelo porto de Paranaguá;

E = capacidade de movimentação de soja em grãos pelo porto de Itaquí;

F = capacidade de movimentação de soja em grãos pelo porto de Itacoatiara;

G = capacidade de movimentação de soja em grãos pelo porto de Vitória;

i = cidades consideradas coletoras da produção de soja por mesoregião do Estado do MT;
(CP, PL, NV, S, R);

r = possíveis rotas de escoamento a partir da origem i , do Estado de MT
(a, b, c, d, e, f, g);

j = mês de escoamento de produção

(abr, mai, jun, jul, ago, sete, out, nov).

Considerando-se:

CP = Campo Novo do Parecis (MT)

PL = Primavera do Leste (MT)

NV = Nova Xavantina (MT)

S = Sorriso (MT)

R = Rondonópolis (MT)

a = origem i – Alto Taquari – Santos – Rotterdam

b = origem i – Santos – Rotterdam

c = origem i – Ponta Grossa – Paranaguá – Rotterdam

d = origem i – Paranaguá – Rotterdam

e = origem i – Xambioá – Estreito – Itaquí – Rotterdam

f = origem i – Porto Velho – Itacoatiara – Rotterdam

g = origem i – Uberlândia – Vitória – Rotterdam

- **Custos Logísticos**

Os valores referentes aos custos de armazenagem foram obtidos a partir do Sistema de Informações de Armazenagem (SIARMA), no ano de 2003 e se referem ao armazenamento em unidades coletoras. O custo de armazenamento adotado inclui as taxas de recepção, pré-limpeza, secagem, classificação, armazenagem, *ad.valorem* e expedição. Engloba também o custo de oportunidade do produto armazenado, sendo considerada uma taxa de desconto de 0,7% ao mês.

Os valores utilizados para os fretes internos (rodo, ferro e hidroviário) são provenientes do Sistema de Informações de Frete para Cargas Agrícolas (SIFRECA) no ano de 2003. Com relação aos valores de fretes inexistentes no banco de dados, mas cujas rotas apresentavam-se passíveis de serem realizadas, adotou-se como estimativa uma regressão simples, sendo o valor do frete (US\$/t) explicado pela distância (km). Já para os valores de fretes rodoviários existentes, mas, não disponíveis para todos os meses considerados, adotou-se a geração de um índice de frete, calculado a partir de um mês base (abril) pois, neste período, as rotas necessárias apresentavam valores cotados, uma vez que é o mês de pico de comercialização de soja.

Os valores de frete marítimo referentes à origem Porto de Santos e destino Rotterdam (Holanda) foram obtidos por meio do Sistema de Informações de Fretes para cargas agrícolas (SIFRECA). Já os demais fretes marítimos a partir dos Portos de Paranaguá (PR), Vitória (ES), Itaqui (MA) e Itacoatiara (AM) com destino a Rotterdam (Holanda) foram obtidos por meio de contato pessoal com a Companhia Vale do Rio Doce (CVRD). Esse mesmo contato também foi responsável pelo fornecimento dos custos portuários (vide Tabela 3).

Tabela 3. Custos logísticos, 2003

Portos	Custo Portuário (US\$/t)	Frete Marítimo até Rotterdam (US\$/t)
Santos (SP)*	7,00	30,61
Paranaguá (PR)	7,00	30,61
Vitória (ES)	5,00	27,61
Itaqui (MA)	6,00 a 7,00	23,61
Itacoatiara (AM)	6,50	39,61

Fonte: CVRD (2003), * SIFRECA (2003).

- **Receita obtida a partir da exportação do produto soja**

Os valores referentes ao preço de venda da soja em grão, considerando-se a média mensal (abril/03 a nov/03), foram obtidos a partir do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2003). Tais dados foram utilizados na função objetivo (1) como parâmetros referentes à receita obtida a partir de cada mês j.

- **Valores de RHS das restrições**

Os valores referentes ao total de soja em grão produzido no Estado do Mato Grosso, especificamente nas cidades de origem i, no ano de 2003, foram obtidos por meio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004). Tais valores referem-se ao RHS da restrição (2).

Os valores relativos ao total de soja movimentada nos portos brasileiros considerados, pelas rotas r , foram obtidos a partir de dados da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX, 2004). Tais valores referem-se ao RHS das restrições (3), (4), (5), (6) e (7).

Cabe ressaltar que os valores referentes à produção de soja, aos custos logísticos, a receita obtida e à movimentação de soja nos portos referem-se aos valores do ano de 2003. Tal evento foi considerado pelo fato de dados mais recentes, como do ano de 2004, estarem disponíveis nas fontes citadas até o mês de setembro. Dessa forma, não seria possível captar as variações referentes aos meses de outubro e novembro.

4. Resultados e Discussão

A matriz origem destino utilizada no modelo se fundamentou no trabalho denominado “Corredores de Desenvolvimento: Alternativas de Escoamento de Soja para Exportação” (GEIPOT, 2001), vide figura 5.

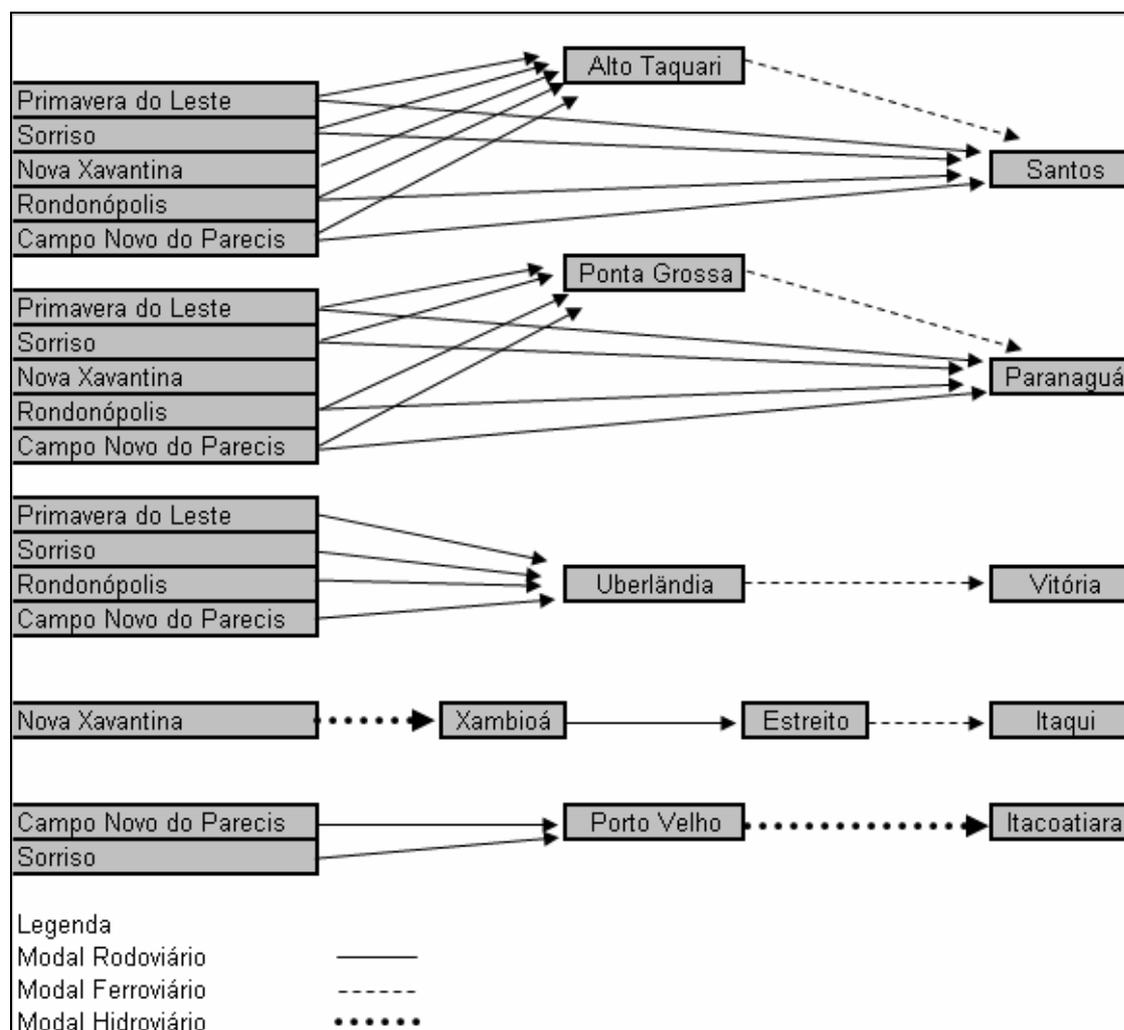


Figura 5 - Matriz origem destino das rotas analisadas, 2001.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do GEIPOT (2001)

O modelo matemático foi rodado obedecendo às condições de dois cenários hipotéticos. Ambos os cenários estabeleciam que a quantidade movimentada a partir de cada origem “i” tinha de ser igual à produção de soja da mesoregião que continha a origem considerada. Este pressuposto considera que toda produção de soja do Estado de Mato Grosso é destinada ao mercado externo. Apesar de o mercado interno também absorver parte da soja colhida, como o objetivo do trabalho não é determinar o custo total de movimentação de soja para exportação a partir do Estado do Mato Grosso, e sim apresentar um modelo que indique as rotas e épocas mais econômicas para o escoamento da produção, pequenas variações no volume escoado não surtirá influência no resultado final objetivado. Além disso, é importante frisar que, em função da demanda de importação de soja pelo continente europeu (Rotterdam) ser maior que oferta de soja verificada no Estado de Mato Grosso, não foi estabelecido nenhuma restrição de demanda, para se evitar problemas de desbalanceamento. Para o cenário 1, foi estabelecido que a capacidade de movimentação mensal de cada porto era igual à movimentação anual de soja em grãos nos portos, em 2003, dividido pelo período de análise considerado neste trabalho, de abril a novembro, ou seja, 8 meses. Esta premissa também não é verdadeira, mas estes valores foram adotados pelas dificuldades para se obter a capacidade real de movimentação de cada porto e pelo fato de grande parte dos portos estarem trabalhando com baixa taxa de ociosidade. No cenário 2, as restrições de capacidade de movimentação dos portos não foram consideradas e os valores do *RHS (Right Hand Side)*, que foram adotados no cenário 1, foram substituídos por variáveis, com o intuito de conduzir o modelo a indicar a capacidade ideal de cada porto que maximizasse a diferença entre receita esperada de soja no mês “j” e “custo logístico” total para a deslocamento de soja em grãos do Estado de Mato Grosso naquele período.

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{r=1} X_{irj} + \sum_{i=1}^5 \sum_{r=2} X_{irj} - SA \leq 0, \text{ para todo } j \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{r=3} X_{irj} + \sum_{i=1}^5 \sum_{r=4} X_{irj} - PA \leq 0, \text{ para todo } j \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{r=5} X_{irj} - E \leq 0, \text{ para todo } j \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{r=6} X_{irj} - F \leq 0, \text{ para todo } j \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^5 \sum_{r=7} X_{irj} - G \leq 0, \text{ para todo } j \quad (7)$$

Portanto, no cenário 2, para as restrições 3, 4, 5, 6 e 7 não foi estabelecido valores para “SA”, “PA”, “E”, “F” e “G”, pois deveriam ser tratados como variáveis.

A solução indicada pelo software GAMS que aponta a melhor combinação de rotas e períodos para o deslocamento de soja em grãos a partir do Estado de MT com o intuito de maximizar a função objetivo, receita esperada menos “custo logístico total”, está resumida na tabela 4.

Tabela 4. Resumo da solução ótima apresentada pelo modelo – cenário 1 (Rota e quantidade mensal movimentada – toneladas)

	abr	mai	jun	jul	ago	sete	out	nov
Sorriso - Alto Taquari - Santos - Rotterdam								
S.a*	448.136,44		712.479,38	712.479,38	712.479,38			712.479,38
Sorriso - Paranaguá - Rotterdam								
S.d*	716.743,13	315.837,26		716.743,13	716.743,13	716.743,13	716.743,13	716.743,13
Sorriso - Porto Velho - Itacoatiara - Rotterdam								
S.f*							67.155,00	187.500,00
Sorriso - Uberlândia - Vitória - Rotterdam								
S.g*							206.189,50	206.189,50
Primavera do Leste - Paranaguá - Rotterdam								
PL.d*		400.905,87	716.743,13					
Rondonópolis - Alto Taquari - Santos - Rotterdam								
R.a*	158.702,00							
Nova Xavantina - Alto Taquari - Santos - Rotterdam								
NV.a*	105.640,94	712.479,38				712.479,38	712.479,38	
Nova Xavantina - Xambioá - Estreito - Itaquí - Rotterdam								
NV.e*		94.612,92	108.368,50	108.368,50	108.368,50	108.368,50	108.368,50	108.368,50
Campo Novo do Parecis - Porto Velho - Itacoatiara - Rotterdam								
CP.f*							120.345,00	
Total								
Total	1.429.222,51	1.523.835,43	1.537.591,01	1.537.591,01	1.537.591,01	1.537.591,01	1.931.280,51	1.931.280,51
Valor da função objetivo								
Z=	1642514765,6607							

* Códigos utilizados para identificação das origens e rotas no modelo de entrada do software GAMS

Fonte: Dados da pesquisa

Note-se que a partir da origem Sorriso a solução indicou quatro rotas para o deslocamento da produção (“S.a”, “S.d”, “S.f” e “S.g”), com predominância da rota “S.d” – Sorriso/Paranaguá/Rotterdam – pela qual o programa sugeriu uma movimentação total de 4.616.296,04 t de soja em grãos, 53,8% da produção total de grãos da mesoregião Norte do Mato Grosso. A rota “S.a” – Sorriso/Alto Taquari/Santos/Rotterdam - também merece destaque, pois foi alocada uma quantidade de 3.298.053,96 t de soja para este percurso. A partir das outras origens as rotas sugeridas foram:

- Primavera do Leste/Paranaguá/Rotterdam
- Rondonópolis/Alto Taquari/Santos/Rotterdam
- Nova Xavantina/Alto Taquari/Santos/Rotterdam
- Nova Xavantina/Xambioá/Estreito/Itaquí/Rotterdam
- Campo Novo dos Parecis/Porto Velho/Itacoatiara/Rotterdam

Também foi verificado que para as rotas “S.a”, “S.d” e “NV.e” o modelo indicou uma distribuição homogênea do volume transportado ao longo do ano. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de os percursos “S.a” e “NV.e” incluírem o modal hidroviário ou ferroviário, que apresentam menor variação mensal de frete. Analisando a movimentação total de soja indicada pela solução, esta foi bem distribuída durante o ano com uma pequena concentração nos meses de outubro e novembro. Quanto à movimentação de soja por porto, verificou-se que o modelo alocou para Santos um total de 5.699.835,04 t esgotando a restrição de capacidade de movimentação mensal pelo porto de Santos (3). Para Paranaguá foi alocado 5.733.945,04 t, valor que também tornou a restrição de capacidade de movimentação mensal pelo porto de Paranaguá

(4) atuante. A restrição da capacidade mensal de movimentação do porto de Itaqui (5) foi atuante para todos os meses, com exceção dos meses de maio e abril. Já a restrição de capacidade mensal de movimentação de Itacoatiara (6) foi atuante apenas nos meses outubro e novembro, nos outros períodos apresentou folga. A solução obtida para o Cenário 1 esgotou a capacidade de movimentação estabelecida para os portos de Santos e Paranaguá, o que revela uma maior atribuição de cargas, sugerida pelo modelo, para estes portos e uma menor utilização relativa dos recursos dos portos de Itacoatiara e Itaqui, em ordem crescente.

No cenário 2, as restrições de capacidade de movimentação dos portos não foram consideradas, os resultados fornecidos pelo modelo se encontram na tabela 5.

Tabela 5. Resumo da solução ótima apresentada pelo modelo – cenário 2 (Rota e quantidade mensal movimentada – toneladas)

	abr	mai	jun	jul	ago	sete	out	nov
Sorriso - Alto Taquari - Santos - Rotterdam								
S.a	1.247.260,00		1.247.260,00	1.247.260,00	1.247.260,00	1.247.260,00	1.097.824,00	1.247.260,00
Primavera do Leste - Alto Taquari - Santos - Rotterdam								
PL.a	1.117.649,00							
Rondonópolis - Alto Taquari - Santos - Rotterdam								
R.a		129.611,00	29.091,00					
Nova Xavantina - Xambioá - Estreito - Itaqui - Rotterdam								
NV.e	373.487,88	373.487,88	373.487,88	373.487,88	373.487,88	373.487,88	373.487,88	373.487,88
Campo Novo do Parecis - Alto Taquari - Santos - Rotterdam								
CP.a							120.345,00	
Total	2.738.396,88	503.098,88	1.649.838,88	1.620.747,88	1.620.747,88	1.620.747,88	1.591.656,88	1.620.747,88
Valor da função objetivo								
Z=	1.645.211.006,8638							

* Códigos utilizados para identificação das origens e rotas no modelo de entrada do software GAMS

Fonte: Dados de pesquisa

Os resultados obtidos sem as restrições de capacidade dos portos apontaram as rotas:

- Sorriso/Alto Taquari/Santos/Rotterdam
- Primavera do Leste/Alto Taquari/Santos/Rotterdam
- Rondonópolis/Alto Taquari/Santos/Rotterdam
- Campo Novo do Parecis/Alto Taquari/Santos/Rotterdam
- Nova Xavantina/Xambioá/Estreito/Itaqui/Rotterdam

O modelo sugeriu uma movimentação por Santos 75% superior em relação ao resultado do cenário 1 e também indicou uma movimentação 245% maior por Itaqui, excluindo os outros portos da solução ótima. O valor da função objetivo revelou uma receita líquida (receita esperada menos custo logístico total) 2.696.241,20 U\$ superior em relação ao valor da função objetivo do cenário 1. Este valor representa a economia obtida com o relaxamento das restrições de capacidade de movimentação dos portos, já que o preço mensal esperado para soja no cenário 1 e 2 é o mesmo. A solução também alocou a movimentação de soja de forma homogênea ao longo do ano, mas indicou uma maior movimentação no mês de abril. Poucas conclusões podem ser traçadas a respeito do período ideal de movimentação, pois o problema analisado apresentou indícios de ser um problema de múltiplas soluções (Preço-sombra nulo para restrições atuantes).

5. Conclusões

O modelo apresentado objetivou fornecer uma ferramenta para a tomada de decisão frente a problemas relacionados à movimentação de grãos. É importante frisar que os resultados

analisados neste trabalho referem-se apenas a dados do ano 2003, não sendo utilizados um conjunto de informações suficientes para tentar traçar comportamentos históricos. Neste sentido, o principal intuito do trabalho foi testar o modelo dinâmico elaborado, sem a pretensão de apresentar uma solução padronizada ou uma “receita” para a movimentação de soja a partir do Estado de Mato Grosso. No entanto, os resultados apresentados podem ser considerados satisfatórios frente ao objetivo do presente trabalho além de permitirem que sejam feitas algumas reflexões sobre as atuais e potenciais rotas de escoamento de grãos do Estado de MT.

Os resultados mostraram que, mesmo quando o modelo não considerou as restrições de capacidade mensal de movimentação, o modelo alocou de forma homogênea o volume escoado de soja ao longo do ano. No cenário 1, o programa indicou uma movimentação um pouco superior nos meses de outubro e novembro, enquanto o cenário 2 revelou uma superior movimentação no mês de abril. Uma vez que o problema revelou sinais de existirem múltiplas soluções, pouco se pode afirmar sobre este comportamento.

O cenário sem restrições indicou a rota origem “i”/Alto Taquari/Santos/Rotterdam e a rota Nova Xavantina/Xambioá/Estreito/Itaqui/Rotterdam como sendo as rotas mais econômicas. No cenário 2, ocorreu uma maior distribuição do volume de soja destinado às exportações entre outros portos. Não era esperado que a rota origem i/Porto Velho/Itacoatiara/Rotterdam fosse excluída da solução ótima obtida para o cenário 2. Diante deste resultado destacamos que há uma necessidade de se coletar o frete marítimo com maior número e maior diversidade de agentes do setor, pois o frete marítimo cotado para Itacoatiara foi superior ao valor apresentado por trabalhos anteriores, como o trabalho usado como referencia nesta pesquisa GEIPOT (2001). Este trabalho citado indicou como rota mais econômica a partir de Sorriso, Primavera, Rondonópolis e Nova Xavantina o percurso que passa por Alto Taquari com destino a Santos. No caso de Campo Novo do Parecis a rota mais viável seria a que passa por Porto Velho com destino à Itacoatiara.

O modelo poderia ser aplicado para o planejamento temporal e de seleção de rotas para o deslocamento de produtos, considerando uma alimentação freqüente do mesmo com dados sobre expectativas futuras de preço e “custos logísticos”.

Referências bibliográficas

- BALLOU, R. H. **Logística empresarial: transportes , administração de materiais e distribuição física**. Tradução de Hugo T. Y. Yoshizaki. São Paulo, Atlas, 1995.388p.
- BULHÕES, R.; CAIXETA FILHO, J.V. A competição entre os porto de Paranaguá e Santos para movimentação de soja. In: CAIXETA FILHO, J.V.; GAMEIRO, A.H. **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**.São Paulo: Editora Atlas, 2001. cap.3, p. 124-135.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Série Histórica de Produção**.
<http://www.conab.gov.br/download/safra/consolidado19902002.xls> (03 out. 2003)
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). <http://cnt.org.br> (05 out. 2004)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES (GEIPOT), MINISTÈRIO DOS TRANSPORTES. **Corredores Estratégicos de Desenvolvimento: Alternativas de Escoamento de Soja para Exportação**. Relatório, 2001.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES (GEIPOT),
MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. <http://www.geipot.gov.br/IndexG.htm> (20 out. 2004)
- FIGUEIREDO, M.G. **Agricultura e estrutura produtiva do estado do Mato Grosso: uma análise insumo-produto**. Piracicaba, 2003. 188p. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- FULLER, S.; YU TUN-HSIANG; , L.; LALOR, A.; KRAJEWSKI, R. **Transportation developments in South América and their affect on international agricultural competitiveness**. <http://www.trb-agtrans.org/pdf/TRB2003-000883.pdf> (01 dez. 2004)
- GOEBEL, D. **A competitividade externa e a logística doméstica**. http://www.bndes.gov.br/conhecimento/livro_desafio/Relatorio-08.pdf (22 nov. 2004)
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sidra**. <http://www.ibge.gov.br/> (17 dez. 2004)
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR (MDIC).
Exportação. <http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/inicial/index.php> (16 dez. 2004)
- PUZZI, D. **Abastecimento e Armazenagem de Grãos**, 2.ed.. Campinas: Instituto
Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 1996 p.
- SCHNEPF, R.D.; DOHLMAN, E.; BOLLING, C. **Agriculture in Brazil and Argentina: developments and prospects for major field crops**. <http://www.ers.usda.gov/publications/wrs013/> (01 dez. 2004)
- SECRETARIA DO COMÉRCIO EXTERIOR (SECEX). **Aliceweb**. <http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/inicial/index.php> (20 dez. 2004)
- SOARES, M.G.; GALVANI, P.R.C.; CAIXETA FILHO, J.V. Transporte de soja em grãos e farelo de soja no Brasil. **Preços Agrícolas**, n. 126, p.26-29, Abr, 1997.