

Rede de Fluxo Otimizada para a Exportação dos Grãos de Soja do Vetor Logístico Centro-Sudeste do Brasil: Uma aplicação da Programação Linear

Dermeval Martins Borges Júnior – dermevaljr14@gmail.com

Universidade Federal de Uberlândia - UFU

Kleber Carlos Ribeiro Pinto – kleber@ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia – UFU

Área temática: Gestão no Agronegócio

Resumo

Este trabalho apresenta inicialmente a evolução do cultivo da soja no Brasil e o cenário recente da logística nacional. Em seguida, recorre ao recurso da programação linear para encontrar a rede de fluxo de custo mínimo para a soja produzida e exportada através do Vetor Logístico Centro-Sudeste que conta com os portos de Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul. Foram tratados os dados oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística de 2014 e do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior do ano de 2015 sobre a produção e a exportação do grão e foram analisadas diferentes opções de modais de transporte. A rede logística consta de 47 origens, 3 destinos e 10 possibilidades de modais e ou combinações entre eles. Foi elaborado um modelo matemático de otimização e utilizada a Linguagem de Modelagem GAMS. A solução ótima do problema indicou uma grande participação do modal rodoviário para o deslocamento dos grãos aos portos e o transporte multimodal se mostrou fundamental para o escoamento da soja produzida nas regiões mais interioranas. O porto de Santos foi indicado para a absorção de toda a soja produzida na região do Triângulo Mineiro, Sudoeste de Minas Gerais, Sul de Goiás, estado de São Paulo e boa parte do estado do Mato Grosso do Sul. O porto de Paranaguá foi apontado como o principal destino para atender a produção do norte do Paraná.

Palavras-chave: programação linear; custo de transporte; logística da soja.

1. Introdução

A produção e exportação de grãos brasileiros, especificamente da soja, vêm crescendo radicalmente ao longo dos anos. No ano de 2015, conforme aponta estudo realizado pela Federação das Indústrias do estado de São Paulo - Fiesp por meio de seu Departamento de Relações Internacionais e Comércio Exterior – Derex (2015), as exportações de soja, em termos monetários, corresponderam a aproximadamente 12,6% do total exportado. A produção na safra 2015/16, segundo o levantamento realizado em novembro de 2015 pela Companhia Nacional de Abastecimento - Conab (2015) é estimada em aproximadamente 102 milhões de toneladas.

Apesar do cenário favorável descrito, para que o nível de competitividade dos produtos agrícolas brasileiros cresça perante o comércio exterior é preciso que os processos envolvidos, desde a produção até o despacho pelos portos, sejam eficientes; daí a importância que o sistema de transporte tem para a economia do país. Uma boa gestão de transportes é fundamental para tornar os produtos mais competitivos, uma vez que esses custos são considerados os maiores dos custos logísticos, tendo grande impacto no preço final do produto (CAPACLE; RAMOS, 2008).

O transporte da soja em grão para a exportação constitui-se em um dos principais desafios da logística nacional. O seu deslocamento desde as regiões produtoras no interior do Brasil até os portos representa um obstáculo para a sua competitividade no mercado internacional. O fluxo entre o interior do país e os portos marítimos para a exportação ainda é feito principalmente pelo modal rodoviário, com custos variáveis mais elevados que o ferroviário e o hidroviário (PONTES; CARMO; PORTO, 2009; LAVORENTE, 2011).

A soja brasileira é produzida no campo com elevada produtividade e baixo custo, mas para chegar aos portos, precisa passar por uma rede logística ineficiente e cara. São poucas as alternativas dos modais ferroviário e hidroviário e a necessidade de passar pelo transporte rodoviário através de rodovias raramente bem conservadas, provoca perdas de grãos (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2011; SOUZA; MARKOSKI, 2012; SILVA; MARUJO, 2012).

Dada a sua representatividade no cenário nacional, este trabalho considera o conjunto das regiões sob a influência do Vetor Centro-Sudeste, que engloba a totalidade dos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, o Triângulo Mineiro e sudoeste de Minas Gerais, o sul de Goiás, o sul do Mato Grosso e norte do Paraná, conforme delinea o Plano Nacional de Logística e Transporte – PNLT do Ministério dos Transportes (2007), que produziu em 2014, 50,44% da soja do país, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2014).

No ano de 2015, o Brasil exportou aproximadamente 54,3 milhões de toneladas de soja em grãos, o equivalente em termos monetários a 21 bilhões de dólares, conforme indicam os dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC (2015). Os principais portos para o despacho da soja produzida na região Centro-Sudeste são os de Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul, que juntos foram responsáveis por aproximadamente 48,17% de toda a exportação da oleaginosa no ano de 2015.

Em função da relevância do impacto dos custos logísticos na competitividade brasileira no agronegócio e a importância da soja para a economia do país, este trabalho busca responder a seguinte questão: quais alternativas de modais de transporte devem ser utilizadas ou implantadas na região geográfica sob a influência do Vetor Centro-Sudeste, de maneira a minimizar o custo global da rede de fluxo da soja para a exportação através dos portos marítimos correspondentes?

O objetivo geral deste estudo é examinar o fluxo das exportações da soja do ano de 2014 desde as regiões produtoras no Vetor Centro-Sudeste até os portos de Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul, contemplando alternativas de transporte que considerem as disponibilidades dos modais rodoviário, ferroviário, hidroviário e transporte multimodal e propor uma rede de fluxo de custo mínimo.

Os objetivos específicos deste trabalho foram: i) revisar trabalhos acadêmicos relacionados principalmente à logística de exportação de *commodities* e ao uso da programação linear como instrumento de otimização; ii) levantar dados secundários de órgãos governamentais e de instituições de pesquisa referentes à produção e exportação da soja brasileira, custo de transporte e a capacidade dos modais; iii) elaborar o modelo matemático representativo do problema de fluxo logístico da soja na forma de um problema de programação linear; iv) utilizar a Linguagem de Modelagem GAMS para buscar a solução ótima do problema; v) analisar os resultados obtidos e indicar a rede de fluxo de custo mínimo.

Tendo em vista o cenário de elevação da produção e do consumo mundial de soja, conforme indicam as projeções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2011), as exportações brasileiras do grão tendem a continuar crescendo. Embora isso seja positivo, pois impacta no aumento da participação brasileira nas exportações mundiais, no aumento da participação das exportações na composição do PIB nacional e no aumento das reservas cambiais, conforme destaca Fleury (2004), também expõe certas fragilidades, como baixa capacidade de ferrovias, condições precárias das rodovias, ineficiência dos portos e diversos outros fatores similares que ocasionam filas e longas esperas, comprometendo o cumprimento dos prazos de entrega ao exterior.

A competitividade dessa *commodity* no mercado mundial requer que a rede de fluxo de carga rodoviária, ferroviária ou hidroviária seja otimizada, a fim de aproveitar ao máximo o que a infraestrutura existente e a ser implantada tem a oferecer. Assim, identificar a rede de fluxo de custo mínimo, contribui para o processo de tomada de decisão dos governos e dos agentes econômicos responsáveis pela exportação, possibilitando formulações de políticas públicas no setor de transporte.

2. Revisão da literatura

2.1. Produção e exportação da soja brasileira

A soja chegou ao Brasil em 1882, vinda dos Estados Unidos, quando o então professor da Escola de Agronomia da Bahia, Gustavo Dutra, realizou os primeiros estudos de avaliação de cultivares de soja introduzida daquele país. Em 1891, foram realizados testes similares no Instituto Agrônomo de Campinas. Contudo, bons resultados foram obtidos por imigrantes japoneses, por volta de 1908, e em 1923, quando Henrique Löbbecke trouxe diversas variedades norte-americanas da planta. Nos anos seguintes a soja foi estudada por outras instituições oficiais e foi cultivada em pequenas áreas, principalmente para a alimentação de famílias de imigrantes japoneses (EMBRAPA, 2004; CÂMARA, 1996).

Conforme afirmado em EMBRAPA (2004), somente na década de 1940 é que houve o primeiro registro estatístico nacional de cultivo comercial da soja, apresentado no Anuário Agrícola do Rio Grande do Sul, que indicava uma produção de 450 toneladas em uma área cultivada de 640 hectares, ou seja, uma produtividade de 700 kg/ha. Em 1949, o Brasil aparecia como produtor de soja pela primeira vez nas estatísticas internacionais, com uma produção de 25.000 toneladas.

Em meados dos anos 50, o grão começou a ser produzido em maior escala, com o estabelecimento do programa oficial do governo de incentivo à triticultura nacional, que contemplava uma safra de trigo e uma de soja no ciclo anual. Com essa política, a produção

de soja foi estimulada, em função de o grão ser uma das melhores alternativas disponíveis, tanto do ponto de vista técnico como econômico, de verão para suceder o trigo, cultivado no inverno. Com os investimentos no trigo a produção de soja foi impulsionada, passando de 25.000 toneladas em 1949 para 206.000 toneladas em 1960 (LAVORENTE, 2011; ALIOTTE, 2007).

Apenas na década de 70 que a soja se consolidou de fato como a principal cultura do agronegócio brasileiro, passando de 1,5 milhões de toneladas produzidas em 1970 para aproximadamente 15 milhões de toneladas no ano de 1979. Esse crescimento expressivo se deu em função do aumento da área cultivada, que passou de 1,3 para 8,8 milhões de hectares nesse período, e também pelo aumento da produtividade, que passou de 1,14 para 1,73 t/ha, por causa dos avanços tecnológicos oriundos da pesquisa brasileira. Até esse momento, cerca de 80% do volume produzido estava concentrado nos estados da região Sul do Brasil (LAVORENTE, 2011; EMBRAPA, 2004).

No final da década de 90, a região Centro-Oeste se consolidou como maior produtora de soja do país. Na safra de 1998/1999 o Centro-Oeste produziu aproximadamente 13,4 milhões de toneladas, enquanto que a região Sul alcançou 12,9 milhões. Daí até a safra de 2008/2009 a área plantada com soja no país cresceu 8,75 milhões de hectares, passando de 12,99 para 21,74 milhões, sendo que a região Centro-Oeste teve destaque com um aumento de 4,9 milhões de hectares (CONAB, 2015).

Conforme os dados da quantidade produzida de soja no país no ano de 2014, indicados pela pesquisa de Produção Agrícola Municipal do IBGE (2014), a produção total foi de 86,8 milhões de toneladas, e o estado com maior produção foi o Mato Grosso, com 26,4 milhões de toneladas, aproximadamente 30% do total produzido no país. No caso deste estudo que considera as regiões sob influência do Vetor Centro-Sudeste, que contempla a totalidade dos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, o Triângulo Mineiro, sudoeste de Minas Gerais, sul de Goiás, sul do Mato Grosso e norte do Paraná, a soja produzida corresponde a 50,4% do total do país, portanto uma quantidade bastante significativa que evidencia a importância desse Vetor Logístico.

A soja também representa um produto importante da pauta exportadora brasileira, sendo bastante relevante na geração de divisas para o país. Silva, Lima e Batista (2011) atribuem isso à elevada produtividade que somada aos baixos custos de produção, permitiram ao Brasil entrar no mercado internacional com a soja comercializada a preços competitivos.

O período de aumento mais significativo nas exportações de soja no Brasil se deu entre 1990 e 2005, com taxa anual média de 14,82% de crescimento. A partir do ano de 1997, o volume de exportações do grão teve um aumento acentuado, em função de a China ter entrado no mercado se tornando o principal comprador da soja brasileira. Outro fator que também colaborou para a expansão das exportações brasileiras de soja foi à implantação da Lei Kandir, Lei Complementar Nº 87 de 13 de setembro de 1996, que desonera o pagamento do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços – ICMS nas exportações dos produtos primários e industrializados semi-elaborados. Existem controvérsias quanto ao impacto dessa lei no desenvolvimento das indústrias de processamento no país, porém é notório que a desoneração do ICMS permitiu que os produtos brasileiros chegassem ao mercado exterior com preços mais competitivos (EMBRAPA, 2004; ALIOTTE, 2007).

No ano de 2015, o Brasil exportou cerca de 54,3 milhões de toneladas de soja em grãos, e em termos de valor monetário, o equivalente a aproximadamente 21 bilhões de dólares. O estado com maior quantidade exportada foi o Mato Grosso, com 14,5 milhões de toneladas, o equivalente a 26,7% do total exportado. (MDIC, 2015).

2.2. A logística nacional e os modais de transporte

A logística empresarial diz respeito a todas as atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos do ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto do consumo final, bem como os fluxos de informação que colocam os produtos em movimento, com o intuito de fornecer níveis de serviço apropriados aos clientes a um custo aceitável. Esta definição identifica as atividades de importância primária para o alcance dos objetivos logísticos de custo e nível de serviço, como por exemplo, transportes, manutenção de estoques e processamento de pedidos (BALLOU, 2007).

De acordo com Ballou (2007), o transporte pode ser considerado como o mais importante elemento da logística, uma vez que um sistema de transporte pouco desenvolvido implica na limitação da extensão do mercado apenas às áreas próximas ao ponto de produção. Conforme Fleury, Wanke e Figueiredo (2000), o transporte é necessário para a movimentação dos materiais até a fase seguinte do processo de produção ou deslocar os produtos até um local fisicamente mais próximo do consumidor final. Deste modo, os produtos podem ser movimentados tanto à frente como para trás da cadeia.

As principais funções do transporte na logística estão ligadas basicamente às dimensões de tempo e utilidade de lugar. O transporte de mercadorias é usado para disponibilizar produtos onde existe demanda potencial, dentro do prazo adequado para atender às necessidades do comprador. Mesmo a troca de informações em tempo real, proporcionada pelo avanço tecnológico, não diminuem a importância do transporte para que o objetivo logístico seja atendido, isto é, produto certo, na quantidade certa, na hora certa, no lugar certo ao menor custo possível (FLEURY; WANKE; FIGUEIREDO, 2000).

Embora o Brasil tenha destaque na produção e exportação mundial de soja, como visto anteriormente, é importante ressaltar que o produto brasileiro perde competitividade ao ter que passar por uma rede logística ineficiente e cara até chegar ao seu destino final. Hiraçuri e Lazaroto (2011) elencam alguns fatores restritivos que compõem o popularmente conhecido “Custo Brasil”, tais como os elevados custos de frete da produção, por causa da ampla utilização do modal rodoviário, com altos custos variáveis; elevadas despesas portuárias oriundas da ineficiência dos portos; baixa capacidade instalada total de armazenamento, principalmente nas propriedades rurais; carga tributária elevada; taxas de juros elevadas; nível de endividamento dos produtores rurais elevado; e falhas na gestão da atividade rural.

De acordo com Peixoto e Pinto (2012), quando se trata de *commodities*, dentre os custos logísticos, o custo de transporte é o de maior importância, pois o seu peso na formação do custo total até o destino é muito expressivo. Capacle e Ramos (2008) afirmam que o produtor brasileiro tem uma perda de aproximadamente 25% da receita de vendas com os custos de transporte da soja.

Dentre os modais de transporte, os cinco básicos são: ferroviário, rodoviário, hidroviário (que engloba o fluvial e marítimo), dutoviário e aéreo. Cada um desses modais possui características operacionais e custos próprios, tornando-os adequados para situações diferentes. Os critérios para escolha de modais devem considerar os aspectos de custos e as características de serviços. Dos cinco modais de transporte citados, apenas três são usados no escoamento da soja, são eles: rodoviário, ferroviário e hidroviário. O modal dutoviário não é compatível em função das características físicas do produto, e o modal aéreo não é adequado para o transporte de *commodities*, por ser extremamente caro (PONTES; CARMO; PORTO, 2009).

O transporte rodoviário é o modal mais utilizado para a movimentação de cargas no Brasil, pois permite grande flexibilidade, atingindo praticamente todos os pontos do país em função

da possibilidade de transporte de ponta a ponta, dado que o Brasil foi um grande incentivador do modal rodoviário, atuando intensivamente na construção de estradas desde a década de 50. Esse tipo de transporte é realizado nas estradas de rodagem por meio de caminhões, carretas e treminhões e movimenta menor volume de carga quando comparado aos outros modais como o ferroviário e hidroviário. Também é caracterizado pelos baixos custos fixos e altos custos variáveis. (LAVORENTE, 2011).

Grande parte da soja produzida no país é transportada pelas rodovias que, segundo Pontes, Carmo e Porto (2009), se encontram em mau estado de conservação. Isso porque, segundo os autores, o tráfego aumentou e a malha viária não se expandiu na mesma proporção, e por falta de manutenção se deteriorou. Além disso, o valor pago pelos fretes rodoviários é muito baixo em comparação com os custos incorridos, o que compromete a saúde do setor. Em decorrência dessas condições precárias das rodovias, Silva e Marujo (2012) ressaltam os grandes prejuízos que os produtores sofrem durante o transporte da *commodity*. Em seu estudo, os autores estimam que aproximadamente 0,3% da soja produzida no Mato Grosso se perde no deslocamento até os destinos, ou seja, dos 26 milhões de toneladas de soja produzidas no estado em 2014, cerca de 78 mil toneladas do grão ficaram às margens das rodovias. Evidentemente, caso as rodovias estivessem em melhor estado de conservação, esse valor tenderia a reduzir bastante.

O modal ferroviário possui custos fixos elevados e custos variáveis relativamente mais baixos quando comparados com o modal rodoviário. O transporte ferroviário representa o segundo modal mais utilizado no Brasil para a movimentação de cargas. A malha ferroviária do país tem aproximadamente 28,5 mil quilômetros e movimenta quase 460 milhões de toneladas úteis anuais. Os principais produtos transportados pelas ferrovias brasileiras são o minério de ferro, soja em grãos e farelo, açúcar e o milho. Também tem crescido ao longo dos anos o uso do transporte ferroviário para a movimentação de produtos industrializados, que geralmente é tido como um produto transportado predominantemente pelo modal rodoviário (SILVA; MARUJO, 2012).

Para Pontes, Carmo e Porto (2009), os principais problemas logísticos das ferrovias brasileiras são: a malha viária pouco desenvolvida, insuficiente para atender toda a demanda; má conservação das ferrovias; a falta de integração operacional entre as diferentes concessionárias, em função da diferença de bitola entre as malhas; a quantidade insuficiente de vagões e locomotivas; as invasões da faixa de domínio das ferrovias nos perímetros urbanos, elevando o tempo de trânsito. Os autores afirmam que esses problemas são decorrentes da falta de prioridade do governo para desenvolver a malha ferroviária ao longo de muitos anos e o elevado investimento necessário para isso.

O modal hidroviário compreende o transporte através dos oceanos, mares, lagos, rios ou canais, englobando o transporte marítimo e o transporte fluvial. O transporte fluvial é realizado em rios, sendo muito comum a utilização de barcas, uma vez que os rios podem ter pequena profundidade. É um modal caracterizado pela movimentação de elevado volume de cargas de baixo valor agregado, realizado com baixa velocidade, sendo indicado para transporte em longas distâncias (LAVORENTE, 2011).

De acordo com Silva e Marujo (2012), o modal hidroviário brasileiro é o terceiro modal mais utilizado para o transporte de cargas. Possui oito bacias, que representam 48 mil quilômetros de rios navegáveis com 16 hidrovias e 20 portos fluviais. Embora o país apresente uma das maiores extensões de rios navegáveis do mundo, sendo praticamente a mesma dos Estados Unidos e o dobro da Europa, e o frete hidroviário seja mais barato que o rodoviário e o ferroviário, o modal participa apenas de cerca de 14% do transporte brasileiro. Pontes, Carmo e Porto (2009) citam como principais problemas logísticos das hidrovias brasileiras: a

quantidade insuficiente de eclusas; a falta de integração com os outros modais de transporte; as restrições quanto ao calado das embarcações; a oferta de barbaças inconsistente; a falta de operadores de transbordo nos portos fluviais; as sinalizações inadequadas.

2.3. Pesquisa Operacional e a Programação Linear

A Pesquisa Operacional, comumente referida como PO, é uma ciência aplicada que emprega técnicas científicas conhecidas, ou até mesmo as desenvolve se for necessário, tendo como ponto de referência o bom emprego da metodologia científica. A PO tem, portanto, relação com a pesquisa científica criativa em aspectos fundamentais das operações de uma organização (MARTINS, 2011).

A Pesquisa Operacional teve origem muitas décadas atrás quando foram feitas tentativas iniciais na utilização de uma abordagem científica na gestão das organizações. Contudo, o início de fato da atividade, com denominação de Pesquisa Operacional, geralmente remonta às operações militares no começo da Segunda Guerra Mundial. Por conta da guerra, existia a necessidade crucial de alocar eficientemente os escassos recursos para as diferentes atividades militares e internas a cada operação. Deste modo, os comandos militares britânico e norte-americano convocaram diversos cientistas para solucionar este e outros problemas táticos e estratégicos por meio da abordagem científica. Esse grupo de cientistas representou as primeiras equipes de Pesquisa Operacional (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Com o fim da guerra, os bons resultados obtidos com o uso da Pesquisa Operacional na iniciativa militar despertou interesse de sua aplicação fora do setor bélico. Com o rápido desenvolvimento industrial no pós-guerra, os problemas resultantes do aumento da complexidade e especialização nas organizações se tornaram prioridade. Deste modo, consultores de negócios que trabalharam, direta ou indiretamente, com equipes de Pesquisa Operacional no período de guerra, perceberam que esses novos problemas organizacionais eram semelhantes aos enfrentados pelos militares, mas em um novo contexto. Na segunda metade do século XX, esses indivíduos introduziram a Pesquisa Operacional em várias organizações nos setores comercial, industrial e governamental, o que permitiu rápida disseminação da PO (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

De maneira geral, o processo para a resolução de um problema por meio da Pesquisa Operacional se dá em cinco etapas. Inicialmente é feita a formulação do problema, incluindo a coleta de dados relevantes. Depois é construído o modelo matemático, de modo a representar a essência do problema real. Uma vez construído o modelo, parte-se para a obtenção da solução, através dos diversos métodos utilizados em PO, como por exemplo, a programação linear, que será descrita a seguir. Em função da complexidade dos problemas, a próxima etapa representa o teste do modelo, que tem o intuito de verificar se de fato o modelo está adequado às informações disponíveis. Por fim, é feita a implementação do modelo final em que os resultados finais são obtidos e, posteriormente, analisados (HILLIER; LIEBERMAN, 2006; MARTINS, 2011).

A programação linear consiste em métodos determinísticos diretos otimizantes aplicáveis a problemas restritos de otimização, quando com variáveis contínuas, ou quase-otimização, quando com variáveis inteiras ou binárias. Os métodos da programação linear permitem buscar indicativos que auxiliam no processo de tomada de decisão a respeito de variados problemas em diversas áreas do conhecimento, sendo fortemente favorável para indicar soluções ótimas aos gestores responsáveis por resolver os problemas logísticos nos níveis estratégico, tático e operacional (PINTO, 2005).

A tarefa da programação linear consiste em maximizar ou minimizar uma função linear, denominada de Função Objetivo, respeitando-se um sistema linear de igualdades ou

desigualdades, chamadas de restrições. As restrições determinam uma região a qual se dá o nome de Conjunto Viável; a melhor das soluções que pertencem ao Conjunto Viável, isto é, a que maximiza ou minimiza a função objetivo, é denominada de solução ótima (MARTINS, 2011).

Conforme Martins (2011), a resolução de um problema de programação linear – PPL exige dois passos. O primeiro refere-se à modelagem do problema e o segundo ao método de solução do modelo. Quanto à modelagem, não existem técnicas precisas capazes de permitir o estabelecimento do modelo de um problema, isso depende da prática e observação, e como método de solução, o mais utilizado é o método simplex, que será descrito mais adiante.

Para a técnica de modelagem é necessário obter dados referentes ao problema a ser resolvido, esse conjunto de dados é denominado de parâmetros. Os parâmetros são números que se dividem em duas classes: i) os coeficientes das variáveis de decisão; e ii) os limitantes que indicam a disponibilidade de recursos. Para estabelecer o modelo matemático é preciso definir: i) as incógnitas do problema, ou seja, as variáveis de decisão; ii) a função objetivo que indica o objetivo a ser atingido; e iii) o conjunto de restrições, que apresentam as limitações de recursos (PINTO, 2005).

O modelo é então resolvido com o uso de métodos matemáticos. Pinto (2005) ressalta que o método simplex é o consagrado pela literatura para dar solução a problemas dessa natureza. Desenvolvido por George Dantzig em 1947, o simplex provou ser um método extremamente eficiente e é usado frequentemente para resolver problemas gigantescos nos computadores de hoje. Basicamente, o método simplex é um algoritmo iterativo, ou seja, representa um procedimento sistemático para solução que fica repetindo uma série de passos, denominado iteração, até que se chegue a um resultado desejado, que no caso da programação linear se trata da solução ótima.

Dentre os problemas da programação linear, um dos tipos mais importantes é o chamado problema de transporte, que possui essa denominação em função da sua ampla aplicação envolvendo situações que tinham como objetivo o deslocamento de mercadorias de maneira otimizada, sendo o tipo de problema proposto neste trabalho. Contudo, alguns empregos importantes desse tipo de problema não envolvem necessariamente a questão do transporte, como por exemplo, no caso de otimização do cronograma de produção (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

3. Procedimentos metodológicos

Neste trabalho, para encontrar a rede de fluxo de mínimo custo da soja para a exportação, foi empregado o sistema GAMS (*General Algebraic Modeling System*), proposto por Brooke e outros (1992) para dar solução ao problema de programação linear devidamente modelado para o caso. A coleta de dados secundários tem origem no relatório da Pesquisa de Produção Agrícola Municipal de 2014 do IBGE (2014), donde foram obtidas as quantidades de soja produzidas por município, e no Sistema Alice MDIC (2015), donde foram obtidas as quantidades exportadas, por estado e por porto, no ano de 2015

Foram contemplados no estudo, as regiões produtoras que estão sob a influência do Vetor Centro-Sudeste proposto no Plano Nacional de Logística e Transporte – PNLT do Ministério dos Transportes (2007), que corresponde à totalidade dos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, Triângulo Mineiro e sudoeste de Minas Gerais, sul de Goiás, sul do Mato Grosso e norte do Paraná e os portos de: Santos (SP), São Francisco do Sul (SC), Paranaguá (PR). Os 806 municípios produtores desse vetor foram agrupados em centróides que representam uma agregação de municípios próximos suficientes para ajuntar em torno de meio milhão de toneladas de grãos anualmente, o que gerou 47 centróides.

O custo de transporte foi representado pelo frete cobrado entre os centróides e os portos por meio dos modais rodoviário, ferroviário, hidroviário e suas respectivas combinações. Assim para calcular os valores dos fretes foram utilizadas as estimativas de frete em reais por tonelada de soja a cada quilômetro percorrido (R\$/t.km) nos diversos modais e ou combinações, oferecidas pelo Laboratório de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina em relatório da Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ (2013). Para compor o cálculo dos fretes, foram consideradas: as distâncias entre os centróides e os portos, através do site Google Maps (2014) no caso de rodovias; a Pesquisa de Ferrovias da Confederação Nacional do Transporte - CNT (2011) no caso de ferrovias, e; o relatório de Transporte de Cargas na Hidrovia Paraná-Tietê 2010 da ANTAQ (2010) no caso das hidrovias.

O perfil do problema de programação linear deste caso corresponde a um problema de transporte, o qual visa o custo mínimo para a rede – 47 centróides e 3 portos, onde as variáveis de decisão representam as quantidades a serem alocadas nos trechos que ligam os centróides aos portos, durante o trimestre principal de exportações, considerando os diferentes modais e ou combinações.

A função objetivo do problema representa o custo total da rede, que deve ser minimizada:

$$Z = \sum_{i=1}^{47} \sum_{(jk)=1}^{10} C_{i,(jk)} \cdot X_{i,(jk)} \rightarrow Min!$$

Sendo:

Z = o custo total da rede de fluxo da soja para a exportação;

i = representa as origens produtoras, que varia de 1 a 47 (centróides);

jk = varia de 1 a 10 e representa os modais e ou combinações possíveis para os 3 portos;

$C_{i,(jk)}$ = o custo de transportar uma tonelada de soja entre a origem (i) e o porto (j) pelo modal e ou combinação de modal (k), com notação (jk);

$X_{i,(jk)}$ = a quantidade em toneladas a serem transportadas entre a origem (i) e o porto (j) pelo modal e ou combinação de modal (k), com notação (jk).

As restrições de oferta do modelo indicam que a soma das quantidades produzidas em cada uma das origens e destinadas aos portos não podem ser maior que a produção total da região produtora:

$$\sum_{(jk)=1}^{10} X_{i,(jk)} \leq a_i$$

Sendo:

$X_{i,(jk)}$ = a quantidade em tonelada a ser transportada entre a origem (i) e o porto (j) pelo modal e ou combinação de modal (k), com notação (jk).

a_i = produção de soja em tonelada em determinada origem - centróide (i).

As restrições de demanda do modelo indicam que a soma das quantidades produzidas em cada origem e destinadas a um dos portos em particular, através de uma combinação de modais precisa atender à respectiva demanda:

$$\sum_{i=1}^{47} X_{i,(jk)} \geq b_{(jk)}$$

Sendo:

$X_{i,(jk)}$ = quantidade em toneladas a serem transportadas entre a origem (i) e o porto (j) pelo modal e ou combinação de modal (k), com notação (jk).

$b_{(jk)}$ = quantidade demandada em toneladas em determinado porto (j) pelo modal e ou combinação de modal (k), com notação por (jk).

No modelo matemático, as origens (i) representam a produção dos centróides em 2014, a partir da compilação de dados oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014), resultando em quarenta e sete pontos geográficos. Quanto aos destinos (j) vinculados aos modais e ou combinações (k), com notação (jk), as quantidades seguem as respectivas exportações do trimestre crítico através dos portos analisados, observadas as capacidades dos modais e ou combinações de modal. Os dados referentes à exportação da soja disponibilizados pelo MDIC (2015) correspondem a cada unidade federativa, mas para chegar aos números por centróides, foram usadas as proporções das exportações por município do MDIC (2015) ponderadas à produção indicada pela Pesquisa de Produção Municipal do IBGE (2014).

Para cada modal de transporte ou combinação de modais (k) foi necessário determinar o respectivo limite de capacidade de transporte: (1) no caso do modal ferroviário, foram consideradas como limites, as quantidades movimentadas de soja apontadas em CNT (2013) em cada par de origem destino; (2) as capacidades das hidrovias foram determinadas pelos volumes de soja indicados no estudo da Agência Nacional de Transporte Aquaviário – ANTAQ (2013), e; (3) A capacidade do modal rodoviário foi definida como suficiente para completar toda a demanda requerida pelos portos de exportação, não representando limitação. No caso das combinações modais disponíveis, as quantidades destinadas aos portos de Paranaguá e São Francisco do Sul não admitem a possibilidade de transporte hidroviário em nenhuma das possíveis combinações de acesso entre regiões centróides e os portos, por isso as combinações modais são dez: Santos-rodoviário, Santos-ferroviário, Santos-rodo-ferroviário, Santos-rodo-hidro-ferroviário, Paranaguá-rodoviário, Paranaguá-ferroviário, Paranaguá-rodo-ferroviário, São Francisco-rodoviário, São Francisco-ferroviário e São Francisco-rodo-ferroviário.

Foi considerado que as exportações procedem dois meses após a colheita do grão, em razão das operações de transporte entre o campo e armazenagem local, secagem, armazenagem do grão seco e deslocamento até o porto. Assim, como a produção ocorre nos meses de março, abril e maio, o período crítico (de pico) das exportações de soja no ano de 2015 ocorreu nos meses de maio, junho e julho, o que também serviu para delimitar a capacidade dos modais de transporte no período de três meses.

4. Resultados

A partir da resolução do modelo matemático, os resultados indicaram que o custo mínimo total da rede de fluxo do transporte da soja para a exportação é de aproximadamente R\$ 1,017 bilhão, sendo que atende toda a demanda dos portos. Como o volume da produção de soja nos centróides correspondeu aproximadamente a 23,3 milhões de toneladas no trimestre e as exportações do grão entre abril e junho foram de quase 14,1 milhões de toneladas, a diferença de 9,2 milhões de toneladas representa o excedente de produção em relação à exportação. Deste modo, caso ocorra determinado aumento na demanda de soja para a exportação, as

regiões produtoras podem ainda atender ao mercado exterior sem ter que necessariamente aumentar sua produção. Em relação aos portos, não houve folga, já que todo o limite determinado pela restrição de demanda foi atendido.

O volume de exportação anual de soja em 2015 pelos portos de Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul corresponde a 48,2% do total exportado nesse mesmo ano. Contudo, considerando apenas o período de pico, que representa o trimestre analisado neste trabalho, o volume de exportações equivale a 53,5% do total. Assim, as exportações pelos portos de Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul são mais acentuadas no trimestre de pico em comparação ao ano todo.

Na região do Triângulo Mineiro e sudoeste de Minas Gerais a solução ótima indicou que toda a soja produzida no trimestre deve ter como destino o porto de Santos (Tabela 1), sendo que toda a produção do centróide de Uberlândia deve ser escoada pelo seu terminal ferroviário, localizado na cidade de Araguari (MG), enquanto que cerca de 83% da soja de Unai deve ser deslocada com a combinação dos modais rodoviário e ferroviário para atingir o mesmo destino. Os outros centróides de Minas Gerais, como Uberaba, Araxá, Patrocínio e o restante dos grãos de Unai, devem ter suas produções escoadas através das rodovias.

TABELA 1 – Quantidade de soja de Minas Gerais a ser despachada ao porto de Santos

Centróide	Combinação/Modal	Quantidade	%
Araxá	Rodoviário	237.625	12,16%
Patrocínio	Rodoviário	220.655	11,29%
Uberaba	Rodoviário	291.565	14,92%
Uberlândia	Ferrovário	382.500	19,58%
Unai	Rodoviário	139.188,79	7,12%
	Rodo-ferrovário	682.424,20	34,93%
Total		1.953.958	100,00%

Fonte: Elaboração própria

No estado de São Paulo, o total da produção de soja também deve ter como destino o porto de Santos (Tabela 2). Os centróides de Araçatuba, Araraquara, Assis, Bauru, Campinas, Itapetininga, Limeira, Presidente Prudente, São Joaquim da Barra e São José do Rio Preto devem movimentar suas produções por meio do modal rodoviário para o escoamento da produção até o referido porto.

TABELA 2 – Quantidade de soja de São Paulo a ser despachada ao porto de Santos

Centróide	Combinação/Modal	Quantidade	%
Araçatuba	Rodoviário	51.816	4,72%
Araraquara	Rodoviário	7.984	0,73%
Assis	Rodoviário	277.398	25,29%
Bauru	Rodoviário	46.918	4,28%
Campinas	Rodoviário	13.578	1,24%
Itapetininga	Rodoviário	419.865	38,28%
Limeira	Rodoviário	5.583	0,51%
Presidente Prudente	Rodoviário	43.015	3,92%
São Joaquim da Barra	Rodoviário	207.728	18,94%
São José do Rio Preto	Rodoviário	22.871	2,09%
Total		1.096.756	100,00%

Fonte: Elaboração própria

Parte da soja produzida na região sul do Mato Grosso também teve como destino indicado, o porto de Santos (Tabela 3). Para o total dos grãos produzidos em Cuiabá, a proposta apontada foi a combinação dos modais rodoviário, hidroviário e ferroviário para chegar ao porto em questão. O modal rodoviário foi indicado para o transporte até Santos de toda a produção de Alto Araguaia. O restante da soja do Mato Grosso, incluindo a dos centróides de Primavera

do Leste, Rondonópolis, Sorriso, Nova Maringá e Campo Novo do Parecis, os quais foram considerados na simulação matemática, não foi absorvido pelos portos apreciados neste trabalho, provavelmente devido à restrição de capacidade de exportação dos portos analisados no trimestre considerado e os elevados custos para o transporte a partir dessas regiões.

TABELA 3 – Quantidade de soja do Mato Grosso a ser despachada ao porto de Santos

Centróide	Combinação/Modal	Quantidade	%
Alto Araguaia	Rodoviário	299.402	80,62%
Cuiabá	Rodo-hidro-ferroviário	71.990	19,38%
Total		371.392	100,00%

Fonte: Elaboração própria

Quanto ao estado de Mato Grosso do Sul, a otimização do problema indicou que todos os grãos originários de Cassilândia e quase 72% de Dourados devem ser escoados através do modal rodoviário até o porto de Santos (Tabela 4). As sojas de Três Lagoas e cerca de 65% de Campo Grande também devem ser totalmente destinadas a Santos, porém exclusivamente por meio do modal ferroviário. O porto de São Francisco do Sul (SC) foi apontado como destino da totalidade da produção da região de Iguatemi e do restante da soja de Campo Grande e Dourados, pelo modal rodoviário. Vale ressaltar que, tal como ocorreu com alguns centróides de Mato Grosso, a produção da região de Sonora (MS) e parte de Dourados também não foi contemplada por nenhum dos portos considerados neste estudo.

TABELA 4 – Quantidade de soja do Mato Grosso do Sul a ser despachada aos portos

Centróide	Combinação/Modal	Porto	Quantidade	%
Campo Grande	Ferroviário	Santos	389.134	13,37%
	Rodoviário	São Francisco do Sul	211.210	7,26%
Cassilândia	Rodoviário	Santos	308.139	10,59%
Três Lagoas	Ferroviário	Santos	14.782	0,51%
Dourados	Rodoviário	Santos	1.210.516,23	41,59%
	Rodoviário	São Francisco do Sul	471.764,22	16,21%
Iguatemi	Rodoviário	São Francisco do Sul	304.804	10,47%
Total			2.910.349,45	100,00%

Fonte: Elaboração própria

Os resultados da otimização apontaram que a soja produzida na região sul de Goiás deve ser integralmente destinada ao porto de Santos (Tabela 5). Sendo que a produção de Catalão, Itumbiara e Goiânia deve ser transportada por meio da combinação entre os modais rodoviário e ferroviário. Para o escoamento da produção de Pires do Rio a movimentação indicada é exclusivamente pelas ferrovias. A soja de Rio Verde deve ser deslocada através de duas alternativas, 71% via modal rodoviário, exclusivamente, e o remanescente via combinação rodovia, hidrovia e ferrovia.

TABELA 5 – Quantidade de soja de Goiás a ser despachada ao porto de Santos

Centróide	Combinação/Modal	Quantidade	%
Catalão	Rodo-ferroviário	453.232	12,90%
Itumbiara	Rodo-ferroviário	524.013	14,92%
Pires do Rio	Ferroviário	296.864	8,45%
Rio Verde	Rodoviário	1.230.113,69	35,01%
	Rodo-hidro-ferroviário	511.050,31	14,55%
Goiânia	Rodo-ferroviário	498.007	14,17%
Total		3.513.280	100,00%

Fonte: Elaboração própria

A região que compreende o norte do Paraná tem mais de 45% de sua produção indicada para ser transportada apenas pelo modal rodoviário e com destino ao porto de Paranaguá (Tabela

6), o que corresponde à totalidade da produção de Curitiba, Guarapuava, Ponta Grossa, Prudentópolis, Telêmaco Borba e Wenceslau Braz, e ainda cerca de 63% de Cascavel e 52% de Goioerê. Toda a soja de Maringá e cerca de 70% da de Londrina também tiveram como destino o porto de Paranaguá, porém por meio exclusivo do modal ferroviário. Ainda para Paranaguá foi apontada 48% da soja de Goioerê e 68% de Campo Mourão, através da combinação entre rodovias e ferrovias. Com destino ao porto de São Francisco do Sul por meio do modal rodoviário, devem ser alocadas as produções dos centróides de Ivaiporã, 37% de Cascavel e 3% de Londrina. Ao mesmo porto ainda são indicados 27% dos grãos de Londrina pelo modal ferroviário e 32% de Campo Mourão pela combinação rodo-ferroviária. Toda a soja de Jacarezinho e Cornélio Procópio deve ter como destino o porto de Santos pelo modal rodoviário apenas.

TABELA 6 – Quantidade de soja do Paraná a ser despachada aos portos

Centróide	Combinação/Modal	Porto	Quantidade	%
Campo Mourão	Rodo-ferroviário	Paranaguá	425.030,73	10,01%
		São Francisco do Sul	199.918,27	4,71%
Cascavel	Rodoviário	Paranaguá	349.408,27	8,23%
		São Francisco do Sul	202.215,73	4,76%
Cornélio Procópio	Rodoviário	Santos	203.735	4,80%
Curitiba	Rodoviário	Paranaguá	45.160	1,06%
Goioerê	Rodoviário	Paranaguá	213.310,83	5,02%
	Rodo-ferroviário	Paranaguá	197.676,17	4,65%
Guarapuava	Rodoviário	Paranaguá	412.811	9,72%
Ivaiporã	Rodoviário	São Francisco do Sul	289.772	6,82%
Jacarezinho	Rodoviário	Santos	40.321	0,95%
Londrina	Ferroviário	Paranaguá	219.796	5,17%
	Rodoviário	São Francisco do Sul	9.326,75	0,22%
	Ferroviário		85.679,25	2,02%
Maringá	Ferroviário	Paranaguá	442.456	10,42%
Ponta Grossa	Rodoviário	Paranaguá	415.692	9,79%
Prudentópolis	Rodoviário	Paranaguá	175.807	4,14%
Telêmaco Borba	Rodoviário	Paranaguá	220.833	5,20%
Wenceslau Braz	Rodoviário	Paranaguá	98.402	2,32%
Total			4.247.351	100,00%

Fonte: Elaboração própria

Cabe observar a participação dos modais de transporte resultante da indicação do fluxo ótimo apontado pela solução do problema. Dos 14,1 milhões de toneladas exportadas no trimestre maio, junho e julho (base 2015), o resultado indica que a minimização global dos custos logísticos aponta, aproximadamente 8,7 milhões de toneladas sendo deslocadas para todos os três portos com o uso exclusivo de transporte rodoviário, quase 3 milhões de toneladas com o uso da combinação rodo-ferroviário, 0,58 milhões de toneladas com o uso da combinação de transporte rodo-hidro-ferroviário e 1,83 milhões de toneladas com o uso exclusivo do modal ferroviário.

Esses dados mostram que aproximadamente 61,7% de todo o volume exportado através dos portos chegam neles por uso exclusivo do transporte rodoviário e que 38,3% chegam com algum uso da alternativa ferroviária: combinado rodo-ferro, rodo-hidro-ferro e exclusivamente ferroviário. A participação referente à combinação rodo-hidro-ferroviário, surpreendentemente representa apenas 4,1% das quantidades deslocadas. Estima-se que esse número insignificativo perante o conjunto de alternativas de deslocamento sofre a restrição da capacidade do trecho hidroviário devido ao período da seca, que no Centro-Oeste brasileiro exerce forte impacto no mês de junho, um dos meses do trimestre, indicando que o transporte hidroviário, ainda que tenha um custo variável mais barato do que todas as opções, possui

forte restrição quanto à operacionalização do transporte de produtos que precisam ser deslocados no período de seca, particularmente devido às baixas dos rios que impedem as barcas ou chatas de se movimentarem na sua capacidade máxima, chegando até à interrupção total das operações.

5. Considerações finais

Este trabalho indicou, por meio da elaboração de um modelo matemático resolvido pela técnica de programação linear, as quantidades de soja produzidas nas regiões sob influência do Vetor Centro-Sudeste a serem alocadas em combinações modais possíveis entre rodovias, ferrovias e hidrovias, de forma a atingir o custo mínimo de transporte até os portos de Santos, Paranaguá e São Francisco do Sul. Para tanto, foi realizada uma contextualização da literatura, envolvendo estudos importantes e recentes sobre o tema, com o intuito de adquirir uma compreensão mais acentuada sobre o assunto abordado, averiguando os conceitos fundamentais da programação linear, bem como as resoluções pelo método simplex e a linguagem de modelagem GAMS.

Os resultados mostraram que a totalidade da produção nas regiões do Triângulo Mineiro, sudoeste de Minas Gerais, sul de Goiás e o estado de São Paulo, bem como boa parte da soja do estado do Mato Grosso do Sul devem ter suas exportações através do porto de Santos. O porto de Paranaguá se mostrou fundamental para absorver a produção da soja oriunda do norte do Paraná.

No que diz respeito à distribuição modal da rede de fluxo, o transporte rodoviário, na solução ótima, movimentaria 61,7% de toda a soja exportada no período analisado, devido à capacidade das ferrovias não ser suficiente para absorver as produções, e 38,3% chegariam aos portos com algum uso da alternativa ferroviária: combinando rodo-ferro, rodo-hidro-ferro e exclusivamente ferroviário.

As vantagens proporcionadas pelas possibilidades intermodais são preferidas no transporte de longas distâncias, a exemplo, o centróide de Cuiabá, que através da combinação dos modais rodoviário, hidroviário e ferroviário, foi indicado para escoar toda a sua produção até Santos. Contudo, o transporte hidroviário em períodos de seca tem sua capacidade reduzida e com isso as alternativas de transporte mais caras se tornam necessárias. Provavelmente, por isso, os centróides mais distantes dos portos estudados, como Primavera do Leste, Rondonópolis, Sorriso, Nova Maringá, Campo Novo do Parecis e Sonora, foram preteridos na solução do problema.

Entre as dificuldades encontradas neste trabalho destaca-se a carência das informações sobre as capacidades específicas dos modais de transporte em determinada malha ferroviária ou hidroviária. Diante dessa situação, a alternativa encontrada foi a utilização das quantidades de soja que chegaram aos portos no trimestre maio, junho e julho de 2015, segundo os modais possíveis. Outra restrição de dados foi referente às quantidades exportadas, disponibilizados pelo MDIC (2015), que correspondiam a cada unidade federativa, e como a pesquisa demandava dados por centróides, foi necessário utilizar as proporções das quantidades produzidas dos centróides obtidos através da Pesquisa de Produção Agrícola Municipal do IBGE (2014) para, assim, estimar as participações das origens nas exportações.

A programação linear e a linguagem GAMS mostraram ser eficientes recursos para a análise de redes logísticas e podem ser replicadas para simular alterações na rede tratada neste trabalho, bem como para a aplicação a outros problemas de fluxo. Além disso, novas pesquisas correlatas podem considerar outros vetores e portos, outras regiões produtoras e *commodities*, por exemplo, o milho, que vem ganhando significativos espaços comerciais no mercado internacional.

Referências

- ALIOTTE, F. F. **Desempenho logístico dos portos brasileiros para a exportação de soja em 2006**. 56 f. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- ANTAQ. **Indicadores do transporte de cargas: tonelada útil transportada (t) e tonelada quilômetro útil (tku)**. Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 2013.
- ANTAQ. **Relatório Técnico: Plano Nacional de Integração Hidroviária**. Laboratório de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.
- ANTAQ. **Transporte de Cargas na Hidrovia do Paraná-Tietê 2010**. Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 2010.
- BALLOU, R. H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. São Paulo: Atlas, 2007.
- BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A. **GAMS: a user's guide**. San Francisco: The Scientific Press, 1992.
- CÂMARA, G. M. S. **A Cultura da Soja**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- CAPACLE, V. H.; RAMOS, P. A precariedade do transporte rodoviário brasileiro para o escoamento da produção de soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas. In: XLVI CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: SOBER, 2008.
- CNT. **O sistema ferroviário brasileiro**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2013.
- CNT. **Pesquisa CNT de Ferrovias 2011**. Confederação Nacional do Transporte. Brasília, 2011.
- CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, quarto levantamento, novembro 2015/ Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília, 2015.
- DEREX. **Raio-X do comércio exterior brasileiro**. Departamento de Relações Internacionais e Comércio Exterior. São Paulo, 2015.
- EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil 2004 – A soja no Brasil**. Embrapa Soja, Sistema de Produção, n.1. 2004. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>> Acesso em: 25/06/2015.
- FLEURY, P. F. **A Infra-estrutura e os Desafios Logísticos das Exportações Brasileiras**. Pesquisa Logística e Comércio Internacional – CEL/Coppead, 2004.
- FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. **Logística empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, 2000.
- GOOGLE MAPS. **Como chegar**. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/>>. Acesso em: out./nov. 2014.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J.; **Introdução à pesquisa operacional**. 8. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **Evolução e Perspectivas de Desempenho Econômico Associadas com a Produção de Soja nos Contextos Mundial e Brasileiro. Embrapa Soja**. Londrina, 2011.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal: culturas temporárias e permanentes 2014**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2014.

LAVORENTE, G. B. Caracterização das vias de exportação de soja do estado do Mato Grosso. **Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial – ESALQ-LOG**. Piracicaba, 2011.

MAPA. **Brasil projeções do agronegócio 2010/2011 a 2020/2021**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2011.

MARTINS, F. A. S. **Introdução à Pesquisa Operacional**. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2011.

MDIC. **Quantidade exportada de soja mesmo triturada, exceto para semeadura**. Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Brasília, 2015.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Relatório executivo**. Plano Nacional de Logística e Transportes – PNLT, 2007.

PEIXOTO, N. E. S.; PINTO, K. C. R. Rede de fluxo de custo mínimo para a soja destinada ao processamento no centro-sudeste brasileiro. In: XV Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: XV SPOLM, 2012.

PINTO, K. C. R. **Aprendendo a decidir com a pesquisa operacional: modelos e métodos de apoio à decisão**. 1. ed. Uberlândia: EDUFU, 2005.

PONTES, H. L. J.; CARMO, B. B. T.; PORTO, A. J. V. Problemas logísticos na exportação brasileira da soja em grão. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v. 4, n. 2, p. 155-181, mai./ago. 2009.

SILVA, A. C.; LIMA, E. P. C. de.; BATISTA, H. R. A. Importância da Soja para o Agronegócio Brasileiro: Uma Análise sob o Enfoque da Produção, Emprego e Exportação. In: V Encontro de Economia Catarinense, 2011, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: V Encontro de Economia Catarinense, 2011.

SILVA, M. P. S.; MARUJO, L. G. Análise de modelo intermodal para escoamento da produção da soja no centro oeste brasileiro. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 3, p. 90-106, 2012.

SOUZA, D. F. de.; MARKOSKI, A. A competitividade logística do Brasil: um estudo com base na infraestrutura existente. **Revista de Administração**, v. 10, n. 17, p. 135-144, 2012.