



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO BAIXO TOCANTINS
FACULDADE DE ENGENHARIA INDUSTRIAL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

LUÍS FELIPE CARDOSO GÓES

**MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA A LOGÍSTICA DE EXPORTAÇÃO DA SOJA
DO MATOPIBA**

ABAETETUBA-PA
2018

LUÍS FELIPE CARDOSO GÓES

**MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA A LOGÍSTICA DE EXPORTAÇÃO DA SOJA
DO MATOPIBA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Industrial da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba, como requisito final para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Harlenn dos Santos Lopes

ABAETETUBA-PA

2018

LUÍS FELIPE CARDOSO GÓES

**MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA A LOGÍSTICA DE EXPORTAÇÃO DA SOJA
DO MATOPIBA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial pelo corpo docente da Faculdade de Engenharia Industrial da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba.

Aprovado em: 25 de junho de 2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Harlenn dos Santos Lopes
UFPA
Orientador

Prof. Dr. Harley dos Santos Martins
UFPA
Examinador

Prof. Msc. Eliomar Azevedo do Carmo
UFPA
Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por tudo que tem me proporcionado durante a vida, sendo um alicerce para que eu possa alcançar meus objetivos pessoais e profissionais. Sem ele, eu nada seria.

Aos meus pais, José Francisco Passos Góes e Maria Aldenora Cardoso Góes, que nunca mediram esforços no incentivo aos estudos e proporcionaram subsídios para a minha educação. Portanto, agradeço infinitamente a vocês pela vida que me proporcionaram, sendo fundamentais na minha chegada até aqui.

A todos aqueles envolvidos diretamente na minha vida, meu irmão Gustavo, meu tio Nelson e meus amigos que estiveram presentes durante todos os momentos. Quero agradecer também aos meus professores dos tempos de escola, onde formei minha base educacional, e aos meus professores da universidade, que foram importantes para o meu aprendizado não só neste curso, como também na vida.

Por fim, agradeço ao meu amigo, professor e orientador Harlenn Lopes, que sempre se mostrou presente para me ajudar, compartilhando conhecimentos que agregaram valor, tanto na minha formação profissional, quanto na minha vida pessoal.

“O homem erudito é um descobridor de fatos que já existem, mas o homem sábio é um criador de valores que não existem e que ele faz existir”.

(Albert Einstein)

RESUMO

O seguinte estudo tem como objetivo propor um modelo para minimizar o custo total de transporte da soja produzida na região do MATOPIBA, destinada à exportação, utilizando programação linear. Os custos incorridos no problema foram elaborados a partir das rotas que ligam as origens produtoras aos destinos da soja no mercado externo, passando por determinados pontos de transbordo. O trabalho foi elaborado considerando 11 origens, representadas por cada mesorregião produtora dos 4 estados do MATOPIBA e 2 destinos internacionais, Xangai e Hamburgo. Para Xangai, foram consideradas as rotas via Canal do Panamá e Cabo da Boa Esperança. Completando o modelo, considerou-se 10 portos exportadores brasileiros, nomeados de pontos de transbordo. A partir desta definição, foram elaborados oito cenários para o problema, alterando a capacidade dos portos exportadores, quantidade ofertada e demandada de soja, além da alteração de rotas internas ligadas aos portos exportadores. Sendo assim, os cenários construídos com maior número de rotas multimodais geraram os menores custos de transporte, sempre indicando o transporte marítimo para Xangai através do Cabo da Boa Esperança, analisando as exportações dos anos de 2017 e 2027. Além disso, foi possível analisar quais portos foram mais utilizados e quais seriam utilizados, caso tivessem capacidade de exportar soja e infraestrutura de rotas para interligá-los às origens produtoras, considerando a importância da utilização dos portos das regiões Norte e Nordeste e a infraestrutura logística, prevendo possíveis investimentos na estrutura de transportes destas regiões, como a utilização de hidrovias e ferrovias.

Palavras-chave: Custos de transporte. Soja. Matopiba. Transbordo.

ABSTRACT

The objective of the present study is to minimize the total transportation costs of soybeans produced in the MATOPIBA region for export using linear programming. The costs incurred in the problem were elaborated from the routes that connect the producing origins to the destiny of the soybean in the external market, passing through certain points of transshipment. The work was elaborated considering 11 origins, represented by each mesoregion producing the 4 states of MATOPIBA and 2 international destinations, Shanghai and Hamburg. For Shanghai, the routes through the Panama Canal and the Cape of Good Hope were considered. Completing the model, it was considered 10 Brazilian exporting ports, named transshipment points. From this definition, eight scenarios were elaborated for the problem, altering the capacity of the exporting ports, the quantity offered and demanded of soybean, besides the alteration of internal routes linked to the exporter ports. Thus, the scenarios constructed with the greatest number of multimodal routes generated the lowest transport costs, always indicating the maritime transport to Shanghai through the Cape of Good Hope, analyzing the exports of the years 2017 and 2027. In addition, it was possible to analyze which ports were used and which would be used if they had the capacity to export soybeans and infrastructure of routes to interconnect them to the producing origins, considering the importance of using the ports of the North and Northeast regions and the logistics infrastructure, anticipating possible investments in the structure of such as the use of waterways and railways.

Keywords: Transportation costs. Soybean. Matopiba. Transshipment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Preços da soja no Brasil para saca de 60 kg.....	21
Figura 2 – Percentual de produção mundial de soja em grão, safra 2016/17	22
Figura 3 – Produção de soja em milhões de toneladas no Brasil, safra 2016/17.....	23
Figura 4 – Percentual de produção de soja por região na safra 2016/17	23
Figura 5 – Comportamento da área de soja do Brasil.....	24
Figura 6 – Produção de soja no Brasil, por mesorregiões	25
Figura 7 – Evolução da produção de soja em grãos no Brasil.....	26
Figura 8 – Evolução da quantidade de soja em grão exportada pelo Brasil	27
Figura 9 – Estados da região Matopiba	30
Figura 10 – Delimitação territorial feita pela Embrapa, em nível de mesorregiões	31
Figura 11 – Produção de soja na região Matopiba, por mesorregiões em 2016.....	33
Figura 12 – Evolução da produção de soja em grão no Matopiba	34
Figura 13 – Evolução das exportações da soja produzida no Matopiba em comparação com o Brasil.....	36
Figura 14 – Paralelo 16 e as exportações de soja e milho, safra 2016/17	36
Figura 15 – Logística de grãos	39
Figura 16 – Comparativo entre os principais modais de transporte	40
Figura 17 – Rede de transporte.....	44
Figura 18 – Rede de transporte com transbordo.....	46
Figura 19 – Rede de transporte da soja para este estudo	58
Quadro 1 – Calendário agrícola da soja dos principais estados produtores	20
Quadro 2 – Classificação da pesquisa	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exportação de soja, por porto brasileiro em 2017	28
Tabela 2 – Quantidade exportada pelo Brasil em 2017 e seus respectivos clientes	28
Tabela 3 - Exportação de soja do Matopiba	35
Tabela 4 – Portos utilizados pelo Matopiba em 2017, para exportação de soja.....	37
Tabela 5 – Matriz de transporte da soja dos principais produtores mundiais.....	41
Tabela 6 - Quantidade de artigos encontrados com base nas palavras-chave	48
Tabela 7 - Quantidade de títulos lidos em cada base de dados.....	49
Tabela 8 - Quantidade de artigos para leitura de resumos.....	49
Tabela 9 – Produção por mesorregiões, safra 2016/17	54
Tabela 10 – Distâncias entre as origens e os pontos de transbordo, em km.....	56
Tabela 11 – Distâncias entre as origens e os pontos de transbordo, em km.....	57
Tabela 12 – Distâncias dos portos exportadores para os destinos	57
Tabela 13 – Custos de transporte interno	58
Tabela 14 – Custos marítimos	59
Tabela 15 – Ofertas e demandas em 2017	60
Tabela 16 – Restrições para os cenários 1, 2 e 3	61
Tabela 17 - Distâncias utilizando a hidrovia Araguaia-Tocantins para Barcarena	62
Tabela 18 – Restrições para os cenários 4, 5 e 6	63
Tabela 19 – Previsão de ofertas e demandas para 2027	63
Tabela 20 – Cenário 1, quantidade transportada em toneladas	64
Tabela 21 – Cenário 2, quantidade transportada em toneladas	65
Tabela 22 – Cenário 3, quantidade transportada em toneladas	66
Tabela 23 – Cenário 4, quantidade transportada em toneladas	67
Tabela 24 – Cenário 5, quantidade transportada em toneladas	68
Tabela 25 – Cenário 6, quantidade transportada em toneladas	69
Tabela 26 – Cenário 7, quantidade transportada em toneladas	70
Tabela 27 – Cenário 8 quantidade transportada em toneladas	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALICEWEB	Sistema de Análise das Informações do Comércio Exterior
ANEC	Associação Nacional dos Exportadores de Cereais
ANPET	Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transporte
BAR	Porto de Barcarena
BMC	Bolsa de Mercadorias de Chicago
CMA	Central do Maranhão
CNT	Companhia Nacional de Transportes
CNP	Centro Norte Piauiense
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENEGEP	Encontro Nacional de Engenharia de Produção
EOB	Extremo Oeste Baiano
ESALQ-LOG	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
GITE	Grupo de Inteligência e Tecnologia da Embrapa
HAM	Hamburgo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILH	Porto de Ilhéus
IMEA	Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária
ITA	Porto do Itaqui
ITC	Porto de Itacoatiara
LMA	Leste do Maranhão
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MATOPIBA	Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
NPI	Norte Piauiense
OCT	Ocidental do Tocantins

OMA	Oeste do Maranhão
ORT	Oriental do Tocantins
PAM	Produção Agrícola Municipal
PEC	Porto do Pecém
PL	Programação Linear
PO	Pesquisa Operacional
PT	Problema de Transporte
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
R\$/Ton.km	Reais por tonelada - quilômetro
SAL	Porto de Salvador
SDP	Sudoeste Piauiense
SIDRA	Sistema de Recuperação Automática
SIFRECA	Sistema de Informações de Fretes
SMA	Sul do Maranhão
SNT	Porto de Santos
STM	Porto de Santarém
SUA	Porto de Suape
Ton.	Toneladas
Ton/ha	Toneladas por hectare
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
VIT	Porto de Vitória
VSF	Vale São Franciscano da Bahia
XNG	Xangai

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Contextualização e apresentação do problema	14
1.2 Justificativa	15
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo geral	16
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
1.4 Estrutura do trabalho	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Definições e características da soja	18
2.1.1 Períodos de semeadura e colheita da soja	19
2.1.2 Preços da soja.....	21
2.2 Produção de soja no Brasil	22
2.2.1 Exportação da soja brasileira.....	26
2.3 Região Matopiba	29
2.3.1 Produção de soja no Matopiba	32
2.3.2 Exportação da soja produzida no Matopiba	35
2.4 Logística da soja	38
2.4.1 Modais de transporte	40
2.5 Pesquisa Operacional	41
2.5.1 Modelagem.....	42
2.5.2 Problemas de transporte	43
2.5.3 Problemas de transporte com transbordo	45
3 METODOLOGIA	47
3.1 Classificação da pesquisa	47
4 ESTUDO DE CASO	51
4.1 Modelo matemático do problema	51
4.2 Definição dos dados	53
4.3 Origens consideradas	53
4.3 Destinos	54
4.4 Transbordos	54
4.5 Distâncias e rede de transporte	56
4.6 Custos de transporte	58
4.7 Construção de cenários e suas delimitações	60

4.8 Resultados e análise dos cenários	64
5 CONCLUSÕES.....	72
REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as exportações de *commodities* agrícolas têm se apresentado cada vez mais presentes na economia, com elevados índices, representando 40% das exportações nacionais. Ao longo dos anos, o Brasil vem evoluindo sua produção agropecuária, sendo também um dos maiores exportadores desses produtos (CORREA; RAMOS, 2010; LOPES; LIMA, 2017). O setor agropecuário apresenta uma grande importância para a economia nacional, visto que o agronegócio representa cerca de 33% das riquezas produzidas no território brasileiro, demonstrando ser uma estratégia de desenvolvimento, juntamente com outras atividades relacionadas ao setor agrícola, assumindo um valor considerável para o país (SALIN, 2017; LOPES *et al.*, 2017).

Muito do crescimento econômico agrícola se deve a soja, grão de destaque nacional e internacional, sendo a principal oleaginosa cultivada no mundo. Ao citar o comércio da soja, destaca-se o Brasil, que em 2013 tornou-se o maior exportador de soja em grão, com 42,8 milhões de toneladas exportadas (SALIN, 2015). No que se refere ao comércio, mas à importação, vale ressaltar a China, país que é o maior consumidor e importador de soja do mundo, onde as importações chegam a 87% do total consumido. No ano de 2015, o Brasil exportou 54,3 milhões de toneladas de soja em grão e a China foi responsável pela importação de 75,3% desse total (HIRAKURI; LAZAROTTO, 2014; ALICEWEB, 2018).

A produção de soja no Brasil se apresenta em diversas regiões, diversificadas em seus índices de produção. A região Centro-Oeste se destaca com a maior produção do grão, seguida pela região Sul. Essas duas regiões foram responsáveis por 98,9 milhões de toneladas na safra 2016/17, equivalente a 86,7% do total produzido no Brasil (CONAB, 2017a). Apesar da maior parte da produção se concentrar nestas duas regiões, há uma outra região que vem ganhando destaque nos últimos anos. Esta região é denominada Matopiba, pois envolve os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, pertencentes às regiões Norte e Nordeste, novas fronteiras de desenvolvimento da soja no Brasil.

A exportação de soja da região Matopiba em 2015 obteve um aumento de 4,53 milhões de toneladas, comparada com a exportação de 2006, reflexo do aumento em 85% da produção do grão em apenas dez anos (ALICEWEB, 2018). Com o aumento na produção e exportação de soja, Almeida *et al.* (2013) destacam que o Brasil vem enfrentando alguns desafios para transportar grandes quantidades do grão produzido no interior do país para o litoral.

A produção de soja do país leva a uma série de pesquisas para a obtenção de alternativas de escoamento do produto, devido as distâncias entre os portos, utilização de diferentes rotas e modais de transporte, utilização de portos exportadores e a precariedade dos sistemas de transporte brasileiro, afetando diretamente nos custos logísticos envolvidos no transporte do grão até o destino final.

1.1 Contextualização e apresentação do problema

Tendo em vista o crescimento da produção e exportação de grãos da região Matopiba, é importante analisar a estrutura logística de escoamento do grão em direção aos portos exportadores e países importadores, devido aos custos logísticos se refletirem no valor recebido pelo produtor. Isso acontece por causa que o preço da soja é estabelecido de acordo com a Bolsa de Mercadorias de Chicago (BMC). Sendo assim, para o produtor do grão obter uma margem de contribuição maior, é preciso reduzir os custos de transporte, em que somente o transporte interno representa cerca de 20% do valor total da soja (LOPES; FERREIRA; LIMA, 2015; SALIN, 2015).

Atualmente, a maior parte da soja exportada é escoada para o mercado internacional pelos portos das regiões Sul e Sudeste, com destaque para os portos de Santos, localizado no estado de São Paulo, Paranaguá, no estado do Paraná e Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul. (ALICEWEB, 2018; LOPES; LIMA, 2017). Entretanto, nos últimos anos, verifica-se o crescimento de portos localizados nas regiões Norte e Nordeste, como os portos de Barcarena (Vila do Conde), no estado do Pará, Itaqui, no Maranhão, Salvador, na Bahia, entre outros localizados nestas regiões.

Com base na preocupação com os custos logísticos, o governo prevê e vem implantando melhorias de rotas de transporte, com apoio de iniciativas privadas, que facilitarão o escoamento da produção de grãos e minérios para estes portos. Um exemplo destes projetos é a integração da ferrovia Transnordestina com a ferrovia Norte-Sul, que visa interligar a ferrovia Norte-Sul com os portos de Suape, em Pernambuco e Pecém, no Ceará (BRUGNERA; DALCHIAVON, 2017).

Estes projetos de ferrovias encontram-se na fase de construção e algumas áreas ainda permanecem em fase de licitação, sendo que apenas um trecho da ferrovia Norte-Sul está sendo utilizada (BRUGNERA; DALCHIAVON, 2017). Além de ferrovias, há também o projeto para funcionamento da hidrovía Tocantins-Araguaia, que facilitaria transporte da soja vinda do Matopiba e Mato Grosso, rumo aos portos do Norte (LOPES; LIMA, 2017).

Ao longo da elaboração destes projetos, há uma necessidade de reduzir custos logísticos através da otimização de rotas, tendo em vista a exportação de soja, principalmente para a China, que é a principal importadora do grão. A soja destinada à China é escoada principalmente pelos portos do Sul e Sudeste, devido a menor distância no principal trajeto, que é pelo Oeste do Oceano Pacífico, com passagem pelo Cabo da Boa Esperança.

Além do trajeto pelo cabo da Boa Esperança, há a alternativa via canal do Panamá, o qual passou por reformas no ano de 2016, ampliando a estrutura para reduzir filas e facilitar os processos de transporte de navios graneleiros. Neste caso, a soja do Matopiba dispõe de alternativas, que podem ser analisadas de acordo com os custos logísticos de transporte.

Portanto, vale ressaltar que o Brasil apresenta deficiências nos seus modais para o escoamento interno da soja, principalmente relacionados a infraestrutura de rodovias, má utilização dos meios hidroviários além da pouca dispersão de ferrovias. Estas dificuldades impactam nos custos logísticos do produto, o que prejudica o comércio do grão brasileiro ao longo do tempo. Porém, apesar das deficiências dos modais, a região Matopiba dispõe dos portos do Arco Norte como alternativas de transporte marítimo direcionado à China e Europa, o que vem a ser analisado nesta pesquisa, juntamente com o transporte interno do grão em direção aos portos, tendo em vista a redução dos custos de transporte.

1.2 Justificativa

O custo logístico relacionado ao transporte de mercadorias é uma temática abordada tanto em organizações privadas, quanto em organizações governamentais, pois quando se trata de modais de transporte e direcionamento de produtos ao mercado externo, as alternativas de transporte do território nacional são essenciais para a participação nos custos do produto. Sendo assim, a necessidade de redução de custos é um fator chave para o rendimento econômico nas exportações de *commodities* como a soja, pois envolve uma série de fatores que visam otimizar rotas para que o produto tenha uma boa margem de lucro ao produtor.

Nesta problemática, a pesquisa operacional pode ser aplicada para redução de custos logísticos, pois os problemas de transporte podem ser resolvidos através de modelos matemáticos, capazes de adequarem oferta e demanda com restrições impostas. A redução dos custos de transporte envolve uma série de consequências positivas para economia, como a manutenção de exportações ao mercado externo com maiores lucros e direciona investimentos para a região produtora e portos exportadores, como por exemplo, aumento da capacidade e melhor infraestrutura. Além disso, proporciona uma melhor distribuição dos produtos com base

na demanda internacional e distâncias marítimas, de acordo com os clientes externos. Assim, o potencial produtivo brasileiro em relação a soja seria beneficiado, com menores custos incorridos no transporte do produto e alternativas de escoamento do grão pelos portos das regiões Norte e Nordeste.

1.3 Objetivos

Neste tópico serão destacados o objetivo geral e os objetivos específicos, para o alcance do que foi estabelecido no objetivo geral.

1.3.1 Objetivo geral

Propor um modelo matemático para minimizar os custos de transporte incorridos no escoamento da soja produzida no Matopiba destinada à exportação, apresentando as melhores rotas, em função do direcionamento e quantidade de carga aos pontos de transbordo e destinos finais, com base em cenários logísticos elaborados.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analisar histórico de produção e exportação de soja, em relação ao Brasil e região Matopiba;
- Analisar as matrizes de transporte do grão em direção aos portos nacionais e países importadores;
- Coletar dados para observar o desenvolvimento do problema de transporte;
- Analisar as causas do problema de transporte;
- Contabilizar custos incorridos no escoamento da soja para o destino final;
- Propor um modelo matemático para minimizar custos de transporte;
- Construir cenários logísticos com base no modelo proposto, para obter o menor custo;

1.4 Estrutura do trabalho

O presente estudo apresenta-se dividido em cinco capítulos, sendo demonstrados e explicados a seguir:

Capítulo 1: Introdução. Neste capítulo é apresentado uma abordagem geral do trabalho, ressaltando a importância da soja e números referentes a produção e exportação do grão, introduzindo a abordagem em relação a região analisada. Apresenta-se também a problemática

que envolve a logística de transporte do grão ao destino final e os custos envolvidos neste processo, juntamente com os objetivos e justificativa do trabalho.

Capítulo 2: Revisão Bibliográfica. Neste tópico é apresentado definições e características a respeito da soja em grão, produção e exportação referente ao Brasil, caracterização da região Matopiba e sua produção de soja, além de aspectos relacionados a logística de escoamento do grão para exportação, pesquisa operacional e modelagem matemática para problemas de transbordo.

Capítulo 3: Metodologia. Neste capítulo será descrito os métodos de coleta de dados, a condução da revisão sistemática da literatura em relação a trabalhos relacionados com o tema e adaptação das informações obtidas. Também, é demonstrado qual modelo de programação matemática é abordado neste estudo e o método de abordagem dos dados obtidos.

Capítulo 4: Estudo de Caso. Neste capítulo é realizada a análise dos dados coletados referentes a produção e exportação da soja e sua logística de transporte da região Matopiba em direção aos portos exportadores e países importadores, conseqüentemente a aplicação destes números no modelo de programação linear.

Capítulo 5: Conclusões. Aborda o que foi ocasionado pela aplicação do modelo, em que foram discutidos os resultados obtidos em relação ao modelo de minimização de custos de transporte do grão e suas respectivas limitações, como também as proposições para futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo abordará todas as definições, conceitos, e demais conhecimentos necessários ao entendimento e desenvolvimento do trabalho.

2.1 Definições e características da soja

No final do século XIX, a soja chegou ao Brasil através de imigrantes japoneses, que trouxeram as sementes para serem plantadas. Parreira, Verzeloni e Reis (2014) afirmam que o cultivo da soja no Brasil iniciou-se, por volta de 1882, sendo que somente a partir do início do século XX, a soja começou a apresentar sinais de aumento de produção no território brasileiro. No entanto, sua expansão ocorreu a partir de 1970, com a demanda do mercado mundial e o crescimento das indústrias de óleo, entre outras que utilizavam a soja para fabricação de outros produtos. A migração da soja para as áreas centrais do país ocorreu de acordo com o aumento da plantação de grãos ao longo dos anos, com destaque para os estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, juntamente com a região Sul, que passaram a apresentar grandes áreas para plantação, devido aos solos férteis para atividades agrícolas. (OJIMA, 2004; BAHIA; BOTELHO; RIOS, 2008).

O complexo soja (grão, farelo e óleo) é representado por uma série de cadeias produtivas, as quais envolvem produção, transporte, e comercialização do produto. Este complexo se apresenta de extrema importância econômica, devido aos mais diversos agentes e organizações interligados aos setores socioeconômicos envolvidos. Dentre estes, pode-se destacar empresas de pesquisa e desenvolvimento, cooperativas agroindustriais, produtores rurais, fornecedores de insumos, indústrias de máquinas, empresas de transporte e outros envolvidos no complexo. Sendo assim, esta cadeia produtiva é de fundamental importância para geração de riquezas, empregos e conseqüentemente impulsiona o desenvolvimento nas regiões do Brasil (HIRAKURI; LAZARATTO, 2014).

Em termos, *commodities* podem ser consideradas como mercadorias primárias, em que podem não ser manufaturadas, como também podem ser parcialmente manufaturadas, apresentando grande participação no mercado externo e interno. Em relação ao mercado mundial, a soja se apresenta como uma das principais *commodities* produzidas, tendo grande importância no cenário econômico agrícola. Pode-se dizer que a soja apresenta grande importância para o Brasil, como também para o mundo, considerando a sua elevada demanda a nível internacional, definida pelos países importadores e exportadores (IMEA, 2015).

Estas *commodities* podem ser consideradas como cíclicas, devido o preço do produto interferir diretamente na sua produção, visto que os preços são estabelecidos em um mercado global, na BMC. Caso o preço estiver alto, a produção será aumentada pelos produtores, visando maiores lucros. Com a alta produção, há o acúmulo de estoques que pode acarretar numa redução do preço dos produtos, que conseqüentemente irá reduzir a produção destas *commodities*, diminuindo a safra, para que o preço volte a subir. Por isso são chamadas de cíclicas, devido a soja vivenciar alterações de produção ao longo do tempo (NEHMI, 2012; IMEA, 2015).

Sendo assim, Cruz, Pizzolato e Cruz (2010) afirmam que a soja é o produto agrícola de maior importância econômica para o Brasil, o que interfere diretamente na maneira de gerenciar a cadeia produtiva deste produto, que dispõe de diversas tecnologias e recursos financeiros investidos. Portanto em meio a tecnologias, é importante relacionar os períodos de colheita com as exportações, visto que o comércio desta *commodity* requer uma logística eficiente, prevendo quais períodos podem apresentar alta demanda de caminhões.

2.1.1 Períodos de semeadura e colheita da soja

De acordo com o Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária (IMEA) (2015) o calendário agrícola da soja pode ser dividido de acordo com a localização dos países produtores, sendo que, em relação aos principais produtores, divide-se em hemisfério norte e sul. O Brasil, localizado no hemisfério sul apresenta um período de semeadura entre os meses de outubro e dezembro, com colheita entre janeiro e maio, diversificando em alguns períodos de acordo com o estado e as condições climáticas de cada região brasileira. O Quadro 1 a seguir, mostra o calendário agrícola da soja dos principais estados produtores do Brasil.

Quadro 1 – Calendário agrícola da soja dos principais estados produtores

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
RO	C	C	C							P	P	P
TO		C	C	C	C					P	P	P
MA	P	P/C	C	C	C	C	C			P	P	P
PI	P		C	C	C	C					P	P
BA		C	C	C	C					P	P	P
MG	C	C	C	C	C					P	P	P
SP		C	C	C	C					P	P	P
PR	C	C	C	C						P	P	P
SC	P	P/C	C	C	C					P	P	P
RS			C	C	C					P	P	P
MS	C	C	C	C						P	P	P
MT	C	C	C	C						P	P	P
GO	C	C	C	C						P	P	P
DF		C	C	C							P	P

P - PLANTIO C - COLHEITA P/C - PLANTIO E COLHEITA

Fonte: Adaptado de Filassi (2016)

Conforme destaca o IMEA (2015), a Argentina apresenta um calendário agrícola da soja praticamente igual ao do Brasil, devido à localização no hemisfério sul. Já os Estados Unidos, localizados no hemisfério norte, apresentam um calendário diferente, ou seja, a semeadura é realizada no período de abril a junho, com colheita de setembro a novembro. Isto ocorre devido as condições climáticas em cada região do planeta, visto que os períodos de semeadura dos Estados Unidos são de acordo com a primavera e verão, períodos propícios para o cultivo do grão.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (2015), o cultivo da soja tem relação direta com os índices pluviométricos e o clima da região, pelo fato de que o grão precisa de uma temperatura entre 20°C e 30°C para se desenvolver, com índices pluviométricos de até 800 milímetros. Com os períodos destacados no calendário agrícola, a safra brasileira é formada pelo período de semeadura e colheita do grão, sendo que a contabilização das exportações pode ser feita no período de um ano, de fevereiro até janeiro do ano seguinte. Ou seja, boa parte das exportações em um ano, são resultados da safra anterior (CONAB, 2017a; SALIN, 2017).

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) fornece em seus relatórios dados de produção relativos às safras. Já os dados da Produção Agrícola Municipal (PAM), fornecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), abordam os dados de produção de grãos no período de janeiro a dezembro, para maior facilidade na manipulação dos dados. Neste estudo, utiliza-se dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), CONAB, Sistema de Análise das Informações do Comércio Exterior (ALICEWEB) e relatórios de Salin,

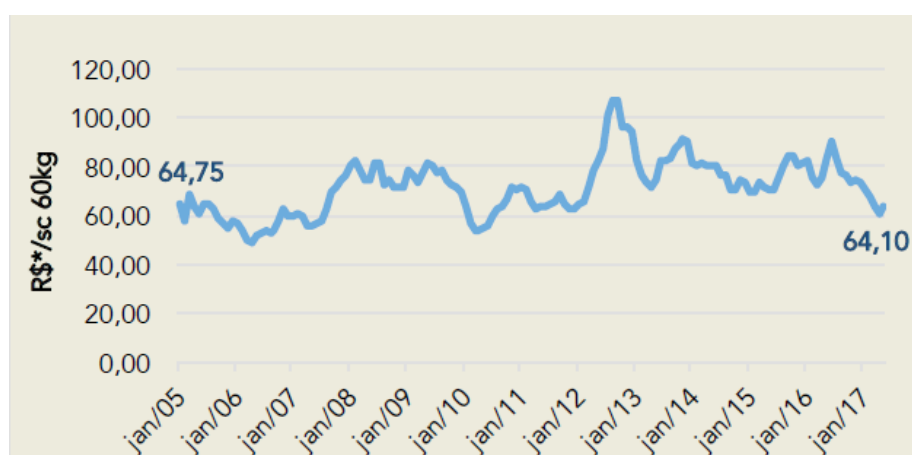
que podem ser visualizados no decorrer do trabalho, proporcionando subsídios para elaboração do estudo de caso.

2.1.2 Preços da soja

De acordo com Bonfim, Ferreira e Caetano (2013) o preço da soja é estabelecido com base no mercado internacional, devido a mesma ser uma *commodity* e a referência para os parâmetros de cotação da soja é a Bolsa de Mercadorias de Chicago (BMC). Os principais países interessados no grão concentram suas ofertas e demandas na BMC, sendo assim, com esta alta concentração de países produtores e importadores, os preços internos da soja se baseiam de acordo com uma demanda futura, estipulada pelas negociações na bolsa. A BMC se mostra presente desde 1848, se tornando uma referência mundial, não só para o mercado da soja, como também para diversos produtos (KUSSANO; BATALHA., 2012; IMEA, 2015).

A partir da formação, os preços internacionais são direcionados para as regiões produtoras, as quais ainda tem que descontar os gastos com estoques e despesas logísticas, em relação ao preço de mercado (BONFIM; FERREIRA; CAETANO, 2013). O peso de referência para estabelecimento do preço é a saca de 60 kg (Quilogramas) no mercado interno brasileiro, apesar de que as atividades de transporte e armazenagem são a granel, medidas por toneladas. A Figura 1 a seguir, demonstra a evolução do preço da saca de 60 kg no Brasil, ao longo dos anos.

Figura 1 – Preços da soja no Brasil para saca de 60 kg



Fonte: MAPA (2017)

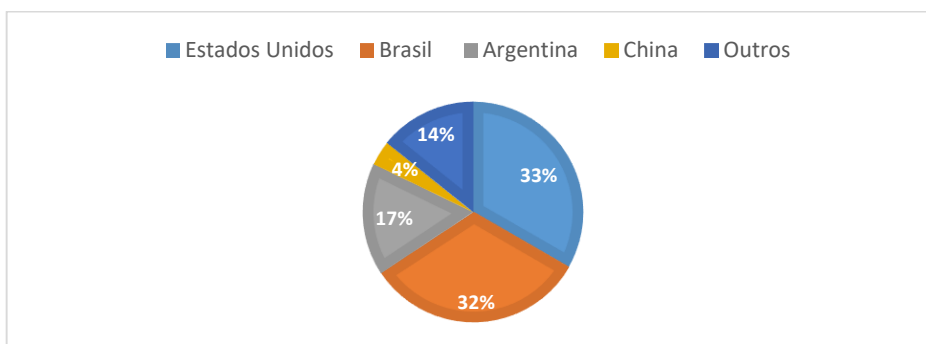
O preço das sacas obteve queda em alguns anos e alta em outros anos, devido tratar-se de *commodities* cíclicas, conforme explicado na seção 2.1. No mercado internacional, há uma medida diferente para medir volume, ou seja, a medida na BMC não é em sacas de 60 kg, mas

sim em *bushel*, que é uma unidade de medida inspirada em um cesto utilizado pelos índios, para colocar certos alimentos e produtos. Este peso de um *bushel* é variável de acordo com o tipo de grão, ou seja, para a soja um *bushel* equivale a 27,215 kg. Tendo como base este peso, pode-se calcular tanto em dólar quanto em real, o preço da saca de 60 kg e também o preço da tonelada do grão (IMEA, 2015; MAPA, 2016). Neste trabalho, a contabilização das quantidades de soja produzida e exportada, serão em toneladas.

2.2 Produção de soja no Brasil

Em relação ao quantitativo de produção, Estados Unidos, Brasil e Argentina representam 82% da produção mundial. China, Índia, Paraguai e Canadá são outros países produtores, em menor proporção, comparados com os três principais (SALIN, 2015; MEDEIROS; NAAS, 2016). De acordo com a CONAB (2017a), o Brasil produziu em torno de 114 milhões de toneladas de soja em grão na safra 2016/17. Este número faz com que o Brasil seja o segundo maior produtor mundial de soja, atrás apenas dos Estados Unidos, conforme o percentual de produção demonstrado na Figura 2.

Figura 2 – Percentual de produção mundial de soja em grão, safra 2016/17



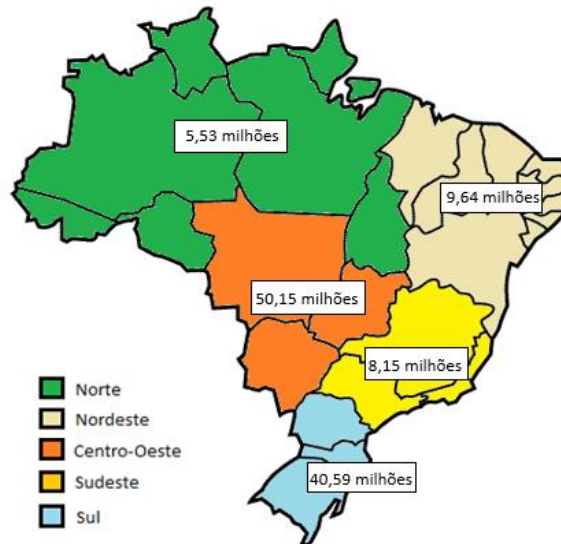
Fonte: CONAB (2017a)

Borges, Araujo e Solon (2013) afirmam que o Brasil apresenta um grande território, o que facilita sua expansão de áreas para atividades relacionadas ao agronegócio. Muitas destas áreas são localizadas nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, as quais desde o tempo de colonização são utilizadas para atividades agrícolas, apresentando maior desenvolvimento de área plantada e infraestrutura.

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (2016) estima-se que a produção de soja até 2025/26 tenha um crescimento de 35,1% em relação à safra de 2015/16, chegando a 129,2 milhões de toneladas de soja. A Figura 3 apresenta a

quantidade produzida de soja (milhões de toneladas) no Brasil, safra 2016/17, em nível de regiões.

Figura 3 – Produção de soja em milhões de toneladas no Brasil, safra 2016/17

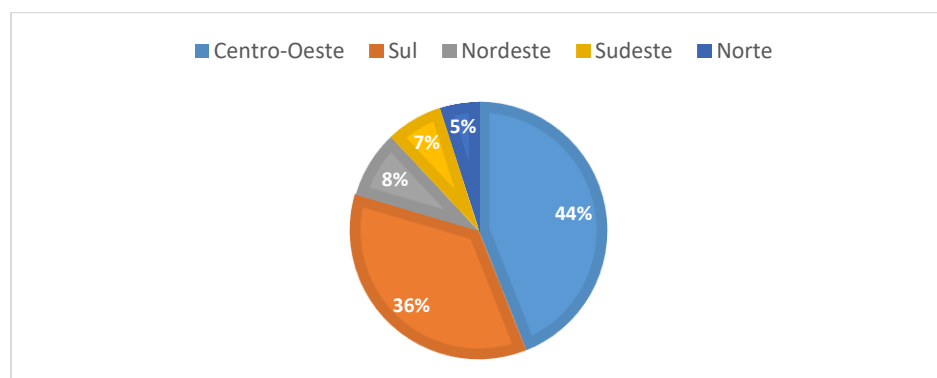


Fonte: Elaborado pelo autor com base em Conab (2017a)

A partir da Figura 3, confirma-se que a produção de soja se concentra no Centro-Oeste e sucessivamente a região Sul, que são as regiões com maior volume de produção, seguidas pelo Sudeste, Nordeste e Norte, em menor proporção. A maior concentração no Centro-Oeste e Sul vem desde os primeiros períodos de plantação da soja, devido aos solos férteis e condições climáticas destas áreas.

Os percentuais de cada região podem ser visualizados na Figura 4, destacando a superioridade da região Centro-Oeste, responsável por 44% da produção de soja (em grão), na safra 2016/17.

Figura 4 – Percentual de produção de soja por região na safra 2016/17

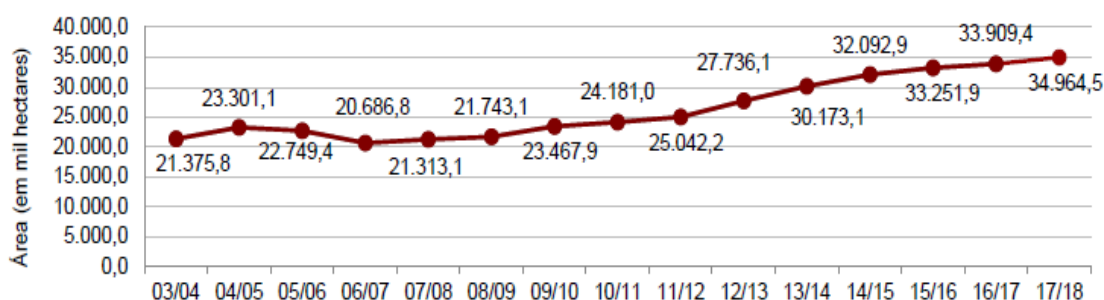


Fonte: Autor, com base em Conab (2017a)

Apesar do baixo percentual da região Nordeste, vale ressaltar que os responsáveis pela maior parte da produção da região são os estados do Maranhão, Piauí e Bahia. Com relação a região Norte, o Tocantins é o principal produtor, sendo este estado um dos integrantes da região Matopiba. No total, o Brasil vem apresentando evolução nas áreas plantadas de soja e também na sua produtividade.

Junto com o aumento da área, a produtividade média do Brasil no cultivo da soja vem aumentando também. Isto é, entre os anos de 2000 e 2015 houve um aumento de 10,3% da produtividade média, se tornando a segunda maior produtividade média mundial no cultivo da soja. Esta produtividade do Brasil representou uma colheita superior a 3,0 toneladas por hectare (Ton/ha), podendo até aumentar este número, de acordo com a expansão da fronteira agrícola, principalmente para as regiões Norte e Nordeste, com destaque para o Matopiba (CNT, 2015). A Figura 5 demonstra a evolução da área de soja plantada no Brasil, ao longo das safras.

Figura 5 – Comportamento da área de soja do Brasil



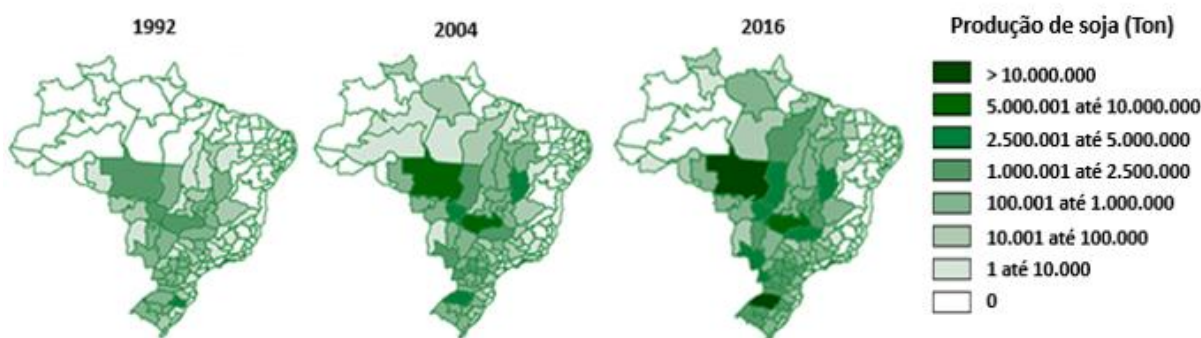
Fonte: CONAB (2017a)

Em relação a Figura 5, percebe-se que a partir da safra 2006/07 ocorreu um aumento gradativo da área de soja. A safra 2016/17 apresentou um aumento na produção de soja de 19,38% em relação à safra 2015/16, fato comprovado pelo aumento de 1,9% da área e da maior produtividade brasileira. A safra 2016/17 também proporcionou um clima favorável, principalmente a partir de 2017, para a produção alcançar altos valores, com aumento de produtividade de 17,1% em relação à safra anterior. De acordo com relatório da Conab (2017a) o Brasil apresenta uma produtividade média de 3,36 Ton/ha, ou seja, em uma área de 33,9 milhões de hectares, foram produzidas 114 milhões de toneladas de soja em grão, na safra 2016/17.

A expansão da área de soja do Brasil pode ser analisada através do mapa de mesorregiões, que de acordo com o IBGE (2017) uma mesorregião é uma área geográfica com

similaridades econômicas e também sociais, que é considerada apenas uma divisão territorial para obter dados estatísticos sobre determinadas características. A Figura 6, demonstra a produção de soja do Brasil ao decorrer dos anos, através de mesorregiões.

Figura 6 – Produção de soja no Brasil, por mesorregiões



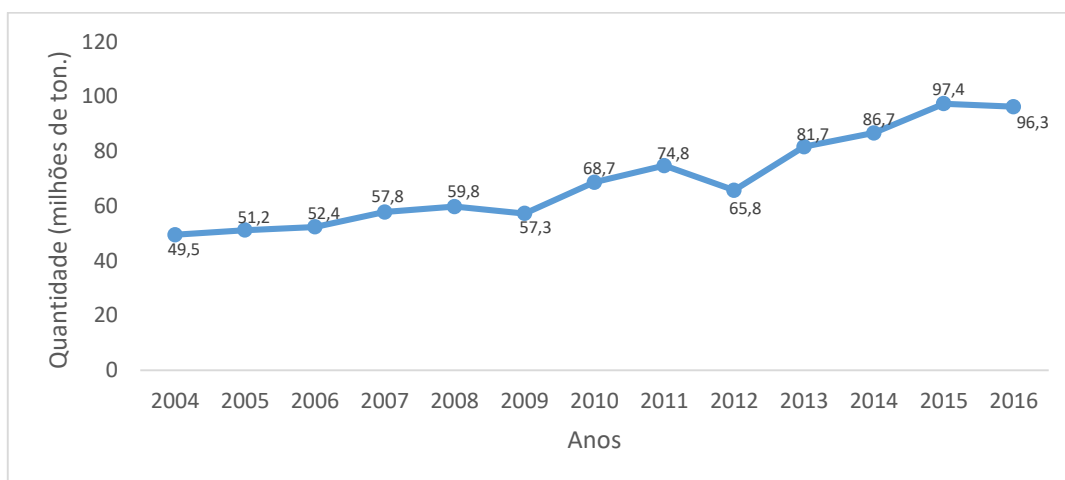
Fonte: Elaborado pelo autor, com base em SIDRA (2018)

A partir da Figura 6, pode-se afirmar que houve uma expansão da soja em diversas áreas do Brasil, principalmente no Cerrado brasileiro. A elevada produção é comprovada pelo aumento do índice do Mato Grosso e de outros estados do Centro-Oeste, como também a produção de soja no Norte e Nordeste brasileiro, onde no ano de 1992 a produção se apresentava em menor escala nestas regiões, com baixo número de plantações do grão. Porém, em 2016 pode-se visualizar uma grande evolução na produção de soja em grão a partir da expansão de plantações, promovendo uma nova distribuição espacial da produção agrícola.

Moraes Filho (2007) destaca que em relação aos principais países produtores de soja, o Brasil apresenta maior capacidade de crescimento na produção do grão, visto que os Estados Unidos pretendem concentrar esforços para aumentar a produção de milho e a Argentina apresenta pouca área de expansão para esta cultura, se tornando limitada para o aumento da oferta do grão. As previsões feitas pelo autor foram comprovadas com o aumento da produção brasileira, e consequentemente a liderança nas exportações no ano de 2013.

Para comprovação do crescimento da produção nos últimos anos, a Figura 7 demonstra a evolução anual da produção de soja em grãos, do ano de 2004 a 2016.

Figura 7 – Evolução da produção de soja em grãos no Brasil



Fonte: SIDRA (2018)

Ao longo dos anos, percebe-se o crescimento do grão, com exceção dos anos de 2009, 2012 e 2016, em que a produção foi afetada por fatores econômicos, redução do preço da *commodity* devido a oferta superior à demanda e problemas climáticos. Mesmo assim, as perspectivas futuras elaboradas para a produção de soja de 2017 foram boas, considerando melhores condições climáticas e cotações positivas no mercado a partir do início de 2017 (CONAB, 2017a; LOPES, 2017).

Portanto, além dos números relacionados a produção, os números de exportações passam a ser analisados, de forma a relacionar o crescimento da produção com o comércio do grão.

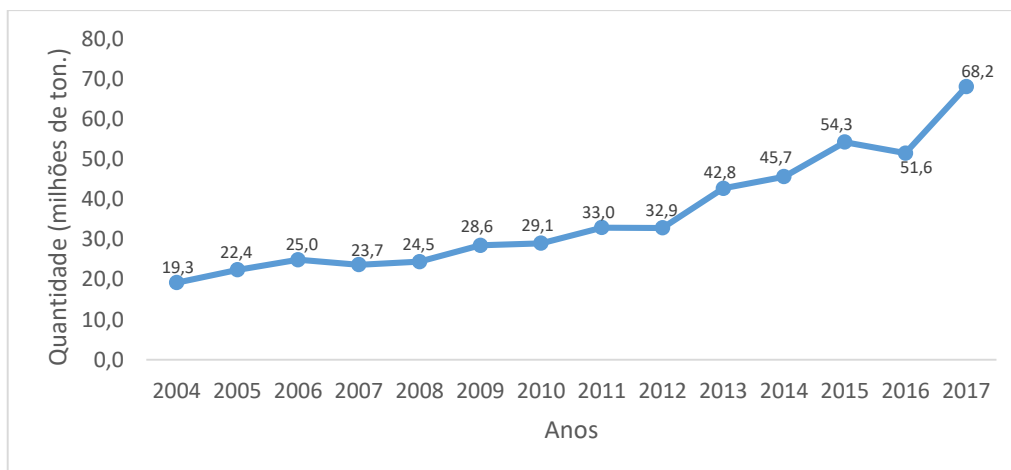
2.2.1 Exportação da soja brasileira

Ao analisar o comércio da soja, Porto *et al.* (2017) ressaltam que o alto número de exportações reflete a importância da soja para o Brasil, visto que, no ano de 2015 o complexo soja (grão, farelo e óleo) foi o principal produto exportado, representando 14,62% do total das exportações do Brasil, com um valor de US\$ 27,96 bilhões gerados pelas exportações de soja.

No ano de 2016, o complexo soja manteve sua liderança como principal produto exportado, com 13,72% de toda a exportação do Brasil, contabilizando um valor de US\$ 25,42 bilhões. Este valor superou produtos importantes produzidos no território nacional, como petróleo e minérios. Em relação ao mercado mundial, o Brasil é o maior exportador de soja em grão, com valor equivalente a 42,8% do total de exportações mundiais do grão. Em 2017 foram exportadas 68,15 milhões de toneladas pelo Brasil, reflexo do bom desempenho da safra

2016/17 (SALIN, 2016; CONAB, 2017a; ALICEWEB, 2018). A Figura 8 demonstra a evolução anual das exportações brasileiras de soja em grão, de 2004 até 2017.

Figura 8 – Evolução da quantidade de soja em grão exportada pelo Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor com base em ALICEWEB (2018)

As exportações em 2017 obtiveram um aumento de 32,17% em relação ao ano anterior, beneficiadas pelo clima e alta do dólar (CONAB, 2017a; ALICEWEB, 2018). Segundo o MAPA (2017) as exportações de soja apresentam perspectivas de crescimento, podendo alcançar 84,1 milhões de toneladas em 2027. Sendo assim, é importante ressaltar os principais períodos de exportação da soja relacionando com a realidade brasileira e suas implicações logísticas, de forma a acompanhar o crescimento das exportações com maior eficiência dos meios de transporte.

Salin (2013) explica que as exportações de soja brasileira são elevadas no período entre abril e junho, visto que, cerca de dois terços do total de soja exportada no ano é comercializada neste período. Isso ocorre devido ao período de colheita coincidir com o período de exportações, fato este que, acontece de acordo com a escassez de locais de armazenamento da soja, fazendo com que muitos produtores tenham que vender pouco tempo após a colheita. Isto impacta diretamente nos preços da safra, gerando um aumento nos custos de transporte, devido ao aumento pela demanda de caminhões, gerando também congestionamentos em muitos portos marítimos brasileiros (MILANEZ *et al.*, 2014). Em relação aos portos marítimos brasileiros, a Tabela 1 demonstra a quantidade de soja em grão exportada, por cada um dos portos, destacando a quantidade que vai para a China.

Tabela 1 – Exportação de soja, por porto brasileiro em 2017

Porto brasileiro	Quantidade exportada (Ton.)	Exportada para a China (Ton.)	Percentual exportado para a China
Itacoatiara - MA	2.137.666	208.911,00	9,77%
Pacaraima - RR	636,7	-	-
Barcarena - PA	4.462.685	2.254.319,74	50,51%
Santarém - PA	1.877.759	455.723,24	24,27%
Santana - AP	51.170	-	-
Itaqui - MA	6.127.570	4.246.740,40	69,31%
Ilhéus - BA	89.918	-	-
Salvador - BA	3.168.532	2.641.039,95	83,35%
Vitória - ES	3.850.615	3.508.826,24	91,12%
Santos - SP	16.589.399	14.183.985,54	85,50%
Guaira - PR	1.160	-	-
Paranaguá - PR	11.349.445	10.026.648,02	88,34%
Santa Helena - PR	390	-	-
Imbituba - SC	990.491	348.301,29	35,16%
Itajaí - SC	300	-	-
São Francisco do Sul - SC	4.718.238	3.984.947,33	84,46%
Rio Grande - RS	12.549.977	11.901.537,55	94,83%
Porto Murtinho - MS	183.976	-	-
Outras formas de exportação	4.812	-	-
Total	68.154.740	53.760.980	

Fonte: ALICEWEB (2018)

De acordo com a Tabela 1, pode-se concluir que os portos do Sul e Sudeste exportam em maior quantidade para o mercado chinês, devido à maior infraestrutura e capacidade de alocação de carga nos portos, além da menor distância no trajeto principal rumo à China, pelo Cabo da Boa Esperança (LOPES *et al.*, 2017). Em relação às exportações brasileiras, a China importou 79% do total de soja em grão exportada pelo Brasil no ano de 2017. A tabela 2, expõe os números representativos à quantidade exportada pelo Brasil e os destinos da soja.

Tabela 2 – Quantidade exportada pelo Brasil em 2017 e seus respectivos clientes

Exportações do Brasil (soja em grão)		
Destino	Quantidade (milhões de ton.)	Percentual
China	53,76	79%
União Europeia	5,72	8%
Tailândia	1,65	2%
Irã	1,25	2%
Outros	5,74	8%
Total	68,15	100%

Fonte: ALICEWEB (2018)

Salin (2015) afirma que os principais destinos finais são os portos de Hamburgo (Alemanha) e Xangai (China). O destaque para os portos internacionais se dá pelo fato de que nos últimos anos, os grandes importadores da soja brasileira se concentram na Europa e na Ásia. A partir deste enunciado, a distância entre as zonas de produção e o destino final passa a ser estudada, de forma a minimizar custos logísticos de transporte. Ao analisar as rotas marítimas, Lopes *et al.* (2017) afirmam que o Cabo da Boa Esperança, que passa no extremo sul da África, é a rota mais utilizada entre Brasil e China, devido a mesma não possuir taxas relacionadas à travessia e poucas restrições ao tamanho dos navios graneleiros.

Outra alternativa para escoamento da soja brasileira seria a rota pelo Canal do Panamá que concluiu em 2016 as obras de ampliação, com a criação de novas eclusas paralelas às já existentes. Com isso, a partir do ano de 2017 a capacidade do novo sistema passaria para 600 milhões de toneladas anuais, superior a antiga capacidade, que era de 290 milhões anuais (SANTOS, 2014; NAVARRO, 2015).

Em um estudo dos custos de transporte das exportações de soja, Almeida *et al.* (2013) apresentam uma modelagem matemática e simulação em relação ao escoamento da soja em direção a Xangai (China), abordando as maiores regiões produtoras do Brasil, com objetivo de otimizar o sistema logístico, baseando-se nos custos de transporte rodoviário e marítimo. Os autores fizeram a modificação da capacidade portuária e concluíram através de resultados de três cenários que há necessidade de ampliação dos portos brasileiros e considerar portos do Peru e Chile como alternativa.

Portanto, as análises de custos de transporte da soja destinada à exportação podem ser elaboradas baseando-se nas regiões produtoras do Brasil e os destinos finais, considerando diferentes portos de transbordo, dependendo da região a ser estudada. As regiões Centro-Oeste e Sul são as mais estudadas, presentes na maioria dos trabalhos. Além dessas regiões, se pode destacar o Matopiba, o qual é o enfoque deste estudo.

2.3 Região Matopiba

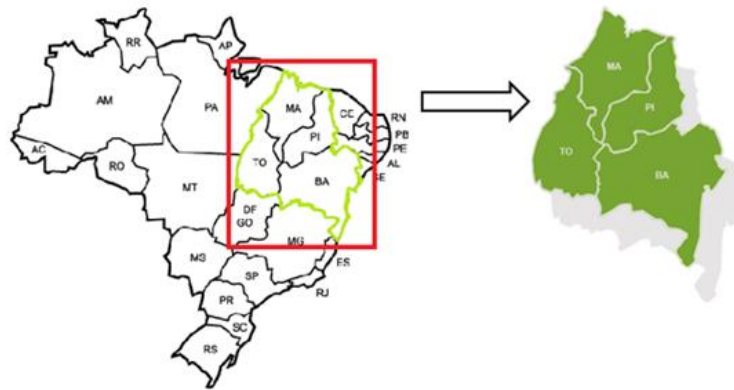
Brugnera e Dalchiavon (2017) afirmam que a região do Matopiba se desenvolveu de acordo com a vinda de imigrantes das regiões Sul e Sudeste do Brasil, nos anos de 1970, período que houve incentivos através de políticas e programas governamentais. Estes incentivos se davam para estimular o desenvolvimento de novas áreas no Cerrado do Nordeste, e também da região Norte. Os programas de incentivos ofereciam benefícios, como menor preço da terra e crédito agrícola aos produtores, o que facilitou a adaptação nesta região do Cerrado, dos estados

do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MATOS; PESSOA, 2011; BARBOSA; MONTEIRO; SILVA, 2015).

Os investimentos na região com a chegada de novos produtores foram essenciais para um maior desenvolvimento tecnológico no Matopiba. A produção agrícola passou a dispor de máquinas tecnológicas, investimento em abertura de novas áreas, correção de solo, entre outros. Sendo assim, tornou-se possível um maior aprimoramento da produção agrícola desta região, aumentando a produção de soja e outros grãos. (BRANCO; CAIXETA FILHO, 2011; BRUGNERA; DALCHIAVON, 2017).

Nos últimos anos, a região do Matopiba tem ganhado maior destaque no cenário agrícola brasileiro. A topografia plana, os solos profundos e o clima favorável ao cultivo das principais culturas de grãos e fibras possibilitaram o crescimento vertiginoso da região (BORGHI *et al.*, 2014). Os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia fazem esta fronteira agrícola, sendo que o estado do Tocantins faz parte da região Norte do Brasil, e o restante faz parte da região Nordeste. A Figura 9 destaca as seguintes unidades federativas.

Figura 9 – Estados da região Matopiba

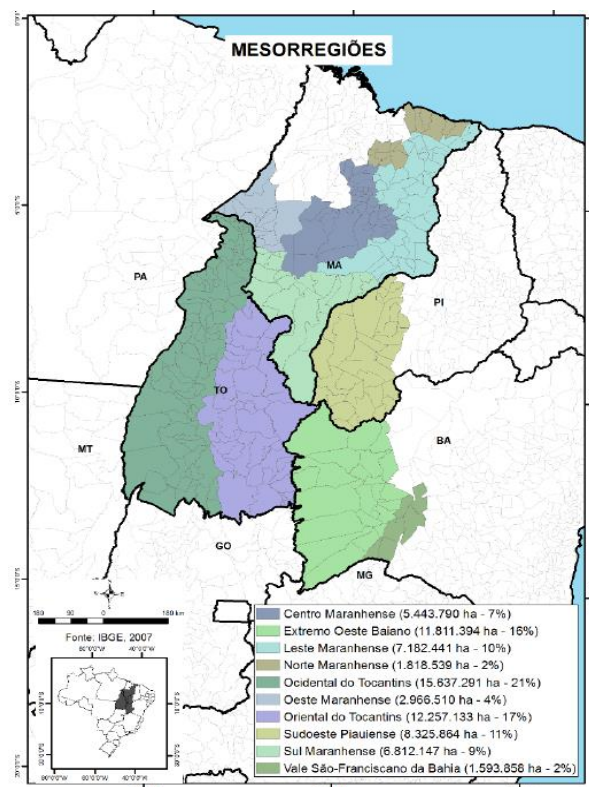


Fonte: Elaborado pelo autor (2018)

Nos últimos anos, a região vem apresentando um crescimento de 20% ao ano na produção de grãos, devido aos investimentos em tecnologias e também a abertura de novas áreas. Este crescimento da região Matopiba é muito superior, comparado com a média do Brasil de 3,5% ao ano, constatando uma certa discrepância de crescimento no setor agrícola da região, com o total brasileiro. Os municípios ligados ao agronegócio da região apresentam um crescimento maior do que os municípios de outras regiões do Brasil. (BRUGNERA; DALCHIAVON, 2017).

Ao longo do crescimento e evolução econômica da região, o governo federal propôs a delimitação territorial da fronteira agrícola do Matopiba, tendo em vista a concentração de investimentos para o desenvolvimento de novas tecnologias e das áreas agricultáveis. Em 2015, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) oficializou esta delimitação da área, com o apoio do Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE) da Embrapa. Esta divisão faz com que a região seja formada por 73 milhões de hectares ao longo dos quatro estados, abrangendo 10 mesorregiões, 31 microrregiões, com 337 municípios (EMBRAPA, 2015; BRUGNERA e DALCHIAVON, 2017). A Figura 10, destaca a delimitação elaborada pelos órgãos do governo.

Figura 10 – Delimitação territorial feita pela Embrapa, em nível de mesorregiões



Fonte: Bolfe *et al.* (2017)

De acordo com Belchior, Alcântara e Barbosa (2017) a delimitação territorial da região se fez presente através de planos de desenvolvimento, como por exemplo o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do Matopiba, cujo o objetivo é o desenvolvimento de políticas públicas para a evolução econômica, de forma que beneficie a população residente na região, como também seja positivo para o desenvolvimento das atividades agrícolas, visando um crescimento econômico sustentável.

O desenvolvimento de projetos na região passa por uma gerência estratégica por parte da Embrapa, em que programas de melhorias, projetos e associações são responsabilidades de um comitê gestor do governo. Este programa de desenvolvimento conta com diversos profissionais, das mais variadas áreas de pesquisa, para a aplicação dos projetos e estabelecimento de soluções, com o objetivo de aumentar a produtividade, reduzir custos, proporcionar tecnologias, produtos e processos, sendo importante para o crescimento da região, e melhoria da qualidade de vida da população (BELCHIOR, ALCÂNTARA; BARBOSA, 2017).

Segundo o MAPA (2017) a região Matopiba deve apresentar um aumento de 15% na área plantada de grãos nos próximos dez anos, estimada em atingir 8,64 milhões de hectares e produção de 26,5 milhões de toneladas de grãos. Este aumento é explicado de acordo com o crescimento da produção de soja e milho, juntamente com a estagnação das áreas de cana de açúcar, comprovando que o investimento nesta fronteira se dá através da produção de grãos, principalmente a soja.

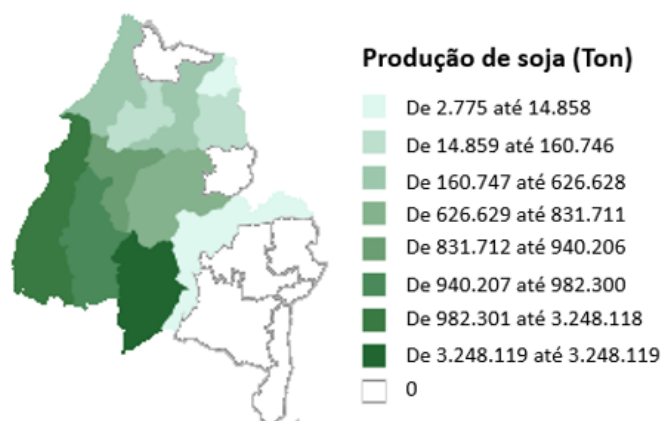
Bolfé *et al.* (2017) destacam que a produção de soja e milho consolidou esta fronteira agrícola, gerando a delimitação do território a partir destas culturas, as quais vem ganhando maior importância e visibilidade no território nacional nos últimos, com aumento do número de propriedades rurais e maior uso da terra.

Em seu trabalho, Santos (2012) apresenta a contribuição de cooperativas no crescimento da produção de grãos na região, destacando os estados pertencentes a região Nordeste (Maranhão, Piauí e Bahia) e ratificou que cooperativas incentivam a produção de grão nestes estados. Portanto, esta região Matopiba tem se mostrado importante para análises econômicas, principalmente devido a sua produção agrícola, com destaque para a soja.

2.3.1 Produção de soja no Matopiba

Apesar da delimitação desta fronteira agrícola pela Embrapa, a área produtora de soja desta região se dispõe também, em outras áreas dos estados componentes do Matopiba, ao classificá-los em mesorregiões. Sendo assim, a área de delimitação elaborada pelo governo, que é a área de fronteira entre os estados, é onde se encontra o maior índice de produção de soja, como também de outros grãos, como o milho. A Figura 11 demonstra os estados componentes da região Matopiba produtora de soja, em sua totalidade, dividida por mesorregiões.

Figura 11 – Produção de soja na região Matopiba, por mesorregiões em 2016



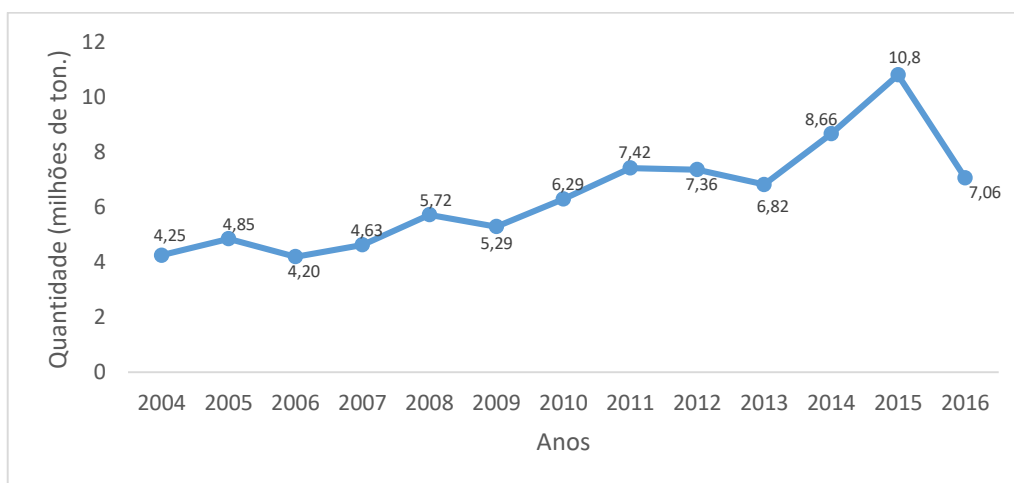
Fonte: Elaborado pelo autor, com base em SIDRA (2018)

Os dados de produção, demonstrados na Figura 11, são referentes ao ano de 2016, pelo qual pode-se notar que a maior parte da produção da soja se concentra no interior do Matopiba, onde predomina o Cerrado. Bolfe *et al.* (2017) afirmam que do ano de 2001 até 2014 a área de soja teve um aumento de 253% na região, passando de 0,97 milhões de hectares para 3,42 milhões de hectares, evidenciando o aumento de produção do grão. A concentração alta de produção, de acordo com a Figura 11, se dá principalmente no Oeste da Bahia e também no Sul do Piauí e Maranhão, formando o chamado “Anel da Soja”.

No ano de 2016, os estados do Matopiba somaram 7,5 milhões de hectares de área plantada de diversas culturas, sendo que, a soja ocupou 3,73 milhões de hectares, valor referente a 49,73% de toda a área plantada do Matopiba. No mesmo ano, esta área gerou uma produção de 7,06 milhões de toneladas de soja na região. Porém, no ano de 2015, a soja ocupava uma área equivalente ao ano de 2016, e produziu 10,8 milhões de toneladas do grão. A diferença de produção entre os anos se deu, devido às alterações do dólar, fazendo com que muitos produtores esperassem a valorização da moeda, para poder comercializar a safra, pois já haviam muitas quantidades negociadas por um preço baixo e também problemas climáticos prejudicaram boa parte da produção nos últimos anos (CANAL RURAL, 2016; IBGE, 2018).

Todos estes problemas climáticos e com a precificação no mercado foram cruciais para atingir os altos índices de produção e exportação. Sendo assim, contribuiu para elevar estoques do grão, os quais não foram comercializados devido a todos estes fatores. A Figura 12 a seguir, demonstra a evolução da produção de soja nos quatro estados pertencentes ao Matopiba, do ano de 2004 a 2016.

Figura 12 – Evolução da produção de soja em grão no Matopiba



Fonte: SIDRA (2018)

Apesar da queda de produção principalmente na primeira metade de 2016 devido ao clima e mercado financeiro, as previsões de super safra para 2017 foram concretas e de acordo com a CONAB (2017 a) os estados da região Matopiba produziram 12,4 milhões de toneladas de soja na safra 2016/17. Entre estes estados, o maior produtor é o estado da Bahia, com aproximadamente 5,12 milhões de toneladas produzidas e uma produtividade de 3,2 Ton/ha. Em seguida, ocupando a segunda colocação, o estado do Tocantins com 2,8 milhões de toneladas e uma produtividade de 2,9 Ton/ha. Maranhão com 2,47 milhões de toneladas e Piauí com 2,05 milhões completam a região, com uma produtividade de 3 Ton/ha e 2,9 Ton/ha, respectivamente.

Silva e Meneghello (2016) afirmam que a produção de grãos tem impulsionado a modernização e transformação da região Matopiba, com melhorias de infraestrutura geradas principalmente pela soja, sendo que, a produção de soja em grão do Matopiba representa 11% do total produzido pelo Brasil. Apesar de não parecer muito, esta representação vem se tornando significativa para os números dos últimos anos.

Ao analisar a produção de soja na região, percebe-se que este tema vem sendo abordado em trabalhos recentes, como por exemplo no estudo de Cunha e Espíndola (2016), que analisam o crescimento da cadeia produtiva da soja no sul do Maranhão, identificando as características geográficas responsáveis pelo crescimento da produção de grãos. Lima e Reis (2016) analisam a produção de soja no Piauí, destacando a contribuição do grão para o desenvolvimento socioeconômico do estado e abordando o processo de expansão desta cultura.

A partir da análise da produção de soja na região e consolidação desta fronteira agrícola, o número de exportações de soja produzida na região passa a ser analisado, com destaque no tópico seguinte.

2.3.2 Exportação da soja produzida no Matopiba

No ano de 2017, os estados da região Matopiba exportaram 7,82 milhões de toneladas de soja em grão, com destaque para a Bahia, que desse total, foi responsável pela exportação de 3,09 milhões de toneladas, número considerado proporcional, devido ao estado apresentar maior produção na região (ALICEWEB, 2018). Sendo assim, é possível visualizar a quantidade de soja exportada e o percentual na Tabela 3.

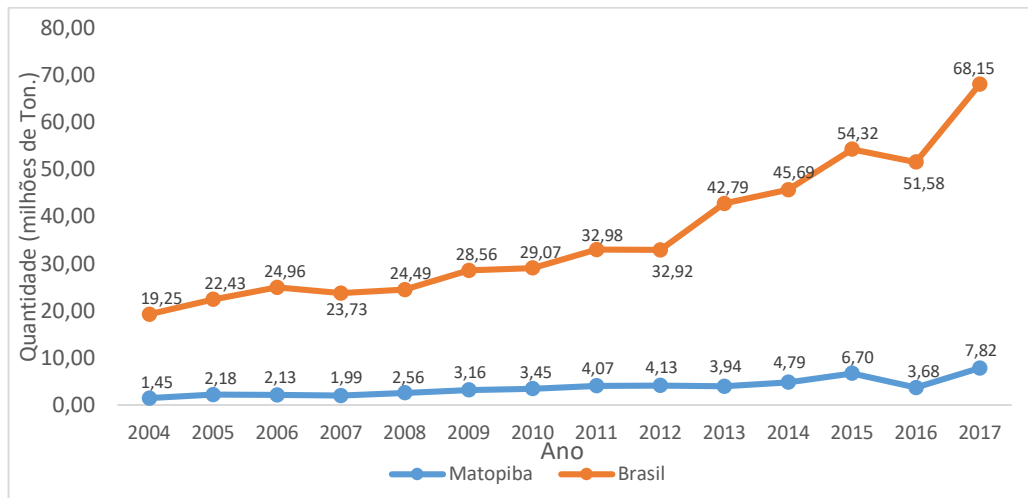
Tabela 3 - Exportação de soja do Matopiba

MATOPIBA 2017		
Estados	Ton. exportadas	%
Bahia	3.096.844	40%
Tocantins	2.014.962	26%
Maranhão	1.888.092	24%
Piauí	821.019	10%
Total	7.820.916	100%

Fonte: ALICEWEB (2018)

Esta quantidade de soja exportada pela região representou 11,48% do total exportado pelo Brasil. Apesar do número parecer pouco relevante, nos últimos anos vem aumentando, devido à maior participação desta fronteira agrícola na produção e comércio de soja. De 2016 para 2017, a quantidade de soja em grão exportada dobrou, conforme pode-se visualizar no seguinte gráfico.

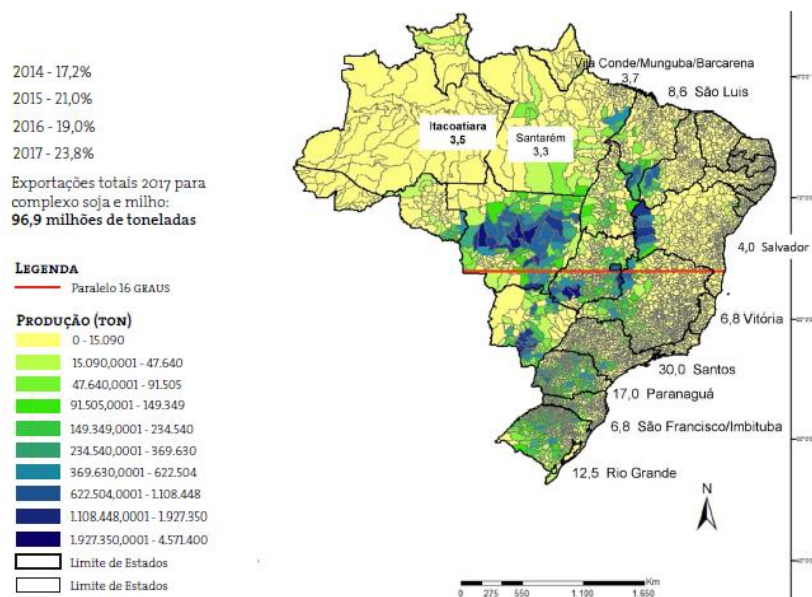
Figura 13 – Evolução das exportações da soja produzida no Matopiba em comparação com o Brasil



Fonte: ALICEWEB (2018)

O aumento das exportações brasileiras subiu juntamente com as exportações do Matopiba. Apesar do baixo índice de 2016, que afetou não só a produção e exportação da região, como também de todo o Brasil, os números de 2017 se mostraram bons e conseqüentemente, elevaram o comércio da *commodity*. Das 7,82 milhões de toneladas de soja exportadas da região Matopiba, 5,81 milhões foram destinadas à China, maior importadora do grão (CONAB, 2017a; ALICEWEB, 2018). A maior parte da soja do Matopiba é escoada pelos portos do Arco Norte, os quais estão localizados acima do paralelo 16, conforme mostra a Figura 14.

Figura 14 – Paralelo 16 e as exportações de soja e milho, safra 2016/17



Fonte: CONAB (2017b)

De acordo com a figura, 23,8% do total de soja e milho seriam exportados por portos localizados acima do paralelo 16. Boa parte da soja escoada provém da região Matopiba, pois apresenta uma boa localização para utilização de portos das regiões Norte e Nordeste (CONAB, 2017b). Sendo assim, estudos elaborados para o escoamento da soja rumo à China, apresentam análises de locomoção interna dos modais de transporte, com estudos sobre as rodovias utilizadas e a dispersão da malha ferroviária e hidroviária.

No trabalho de Brugnera e Dalchiavon (2017) é descrito o escoamento da soja do Matopiba rumo à exportação, comprovando que a maior parte da soja é transportada via malha rodoviária. Porém, os autores apresentam a possibilidade do uso de ferrovias na região, destacando que a expansão do modal ferroviário ajudaria a reduzir custos de transporte da região produtora em direção aos portos exportadores. Ao citar os portos utilizados pela região, a Tabela 4 demonstra as quantidades de soja exportada pela região e seus respectivos portos marítimos no ano de 2017.

Tabela 4 – Portos utilizados pelo Matopiba em 2017, para exportação de soja

Matopiba - Portos de destino (2017)		
Portos	Toneladas	Percentual
Itaqui (MA)	4.436.570,56	56,73%
Salvador (BA)	3.153.224,90	40,32%
Barcarena (PA)	117.746,53	1,51%
Ilhéus (BA)	89.918,52	1,15%
Rio Grande (RS)	11.065,22	0,14%
Santos (SP)	7.962,64	0,10%
Vitória (ES)	4.200,00	0,05%
Pacaraima (RR)	228	0,00%
Total	7.820.916,37	100%

Fonte: ALICEWEB (2018)

Com base na Tabela 4, o porto de Itaqui se apresenta como mais utilizado pela região, devido sua localização e acesso proporcionarem maior facilidade. Além do mais, o porto apresenta uma estrutura superior, comparada aos outros portos da região, com grande capacidade de recebimento de navios e alocação de grãos.

Brugnera e Dalchiavon (2017) afirmam que para maior facilidade de acesso aos portos da região Nordeste, há projetos do governo em andamento, como a construção das ferrovias

Transnordestina, Integração e Oeste-Leste, que se tornariam facilitadoras no transporte da soja do interior rumo aos portos exportadores do Arco Norte, principalmente os portos de Salvador e Ilhéus, na Bahia, além da utilização dos Portos de Suape, em Pernambuco e Pecém, no Ceará.

O estudo de Medeiros e Naas (2016) reafirma a predominância do modal rodoviário no transporte da soja, em um estudo concentrado em duas microrregiões do Piauí. Os autores analisam as perdas de grãos ocasionadas pelo modal rodoviário em relação as distâncias percorridas e concluíram que as maiores perdas foram ocasionadas em um trajeto de menor distância entre a área produtora e uma agroindústria, ressaltando que não só a distância interfere nas perdas do grão, mas também a qualidade e infraestrutura das estradas. Portanto, não somente a distância é importante, mas sim a infraestrutura proporcionada nas vias de acesso.

2.4 Logística da soja

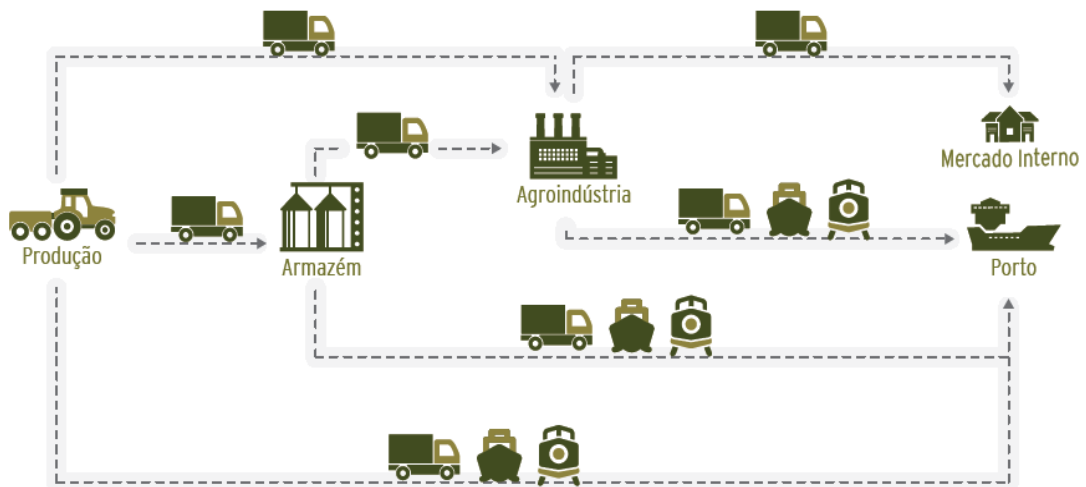
Conforme Ballou (2010) em termos gerais, a logística é formada por processos de movimentação e armazenagem, o que vem a interferir diretamente nos níveis de serviço de uma organização que pretende obter vantagens competitivas frente aos concorrentes. Dessa forma, as atividades de transporte são processos de movimentação, ou seja, incluem os modais rodoviário, ferroviário, marítimo, aeroviário, entre outros, os quais servem como sistemas de movimentação dos produtos.

Para Borges, Araujo e Solon (2013) a logística do sistema de transporte é importante para a soja, visto que, o território brasileiro apresenta desafios para o transporte do grão devido às distâncias percorridas e custos incorridos no processo de transporte. Com isso, o foco passa a ser maior nas características do modal a ser utilizado, nas rotas de escoamento do grão, tanto internas quanto externas e nos custos envolvidos nas atividades de movimentação da soja. De acordo com a Companhia Nacional de Transportes (CNT) (2015) o escoamento da soja pode ser dividido em três etapas:

1. Transporte do grão, da lavoura até os armazéns próprios, de cooperativas ou *tradings*;
2. Transporte dos armazéns até agroindústrias para processamento, em que derivados da soja serão destinados ao mercado interno e externo;
3. Transporte do grão, da lavoura diretamente aos portos exportadores, com destino a exportação;

Estas etapas são evidenciadas na Figura 15, a seguir:

Figura 15 – Logística de grãos



Fonte: CNT (2015)

No caso da comercialização da soja em grão (produto não processado), o produto sai do armazém ou até mesmo diretamente das propriedades rurais após a colheita, em direção ao porto de destino. Nesse sentido, Destri *et al.* (2017) destacam que a capacidade de armazenagem do grão é muito menor comparada a produção nacional. Isto faz com que os produtores tenham que pagar maiores fretes, devido ao aumento do escoamento do grão, que por falta de armazéns acabam sendo transportados pouco tempo após a colheita.

Um exemplo da baixa capacidade de armazenagem do Brasil está na região Matopiba, pois de acordo com Bolfe *et al.* (2016), a região possui uma capacidade de 7,5 milhões de toneladas, inferior a produção de soja e milho regional, que está em torno de 14 milhões de toneladas, ressaltando também que muitos dos armazéns são de capacidade inferior a 200 mil toneladas. Sendo assim, diversas outras regiões brasileiras se encontram na mesma dificuldade em armazenar grãos por longos períodos de tempo, devido à capacidade.

Sendo assim, a CNT (2015) reforça que a infraestrutura logística interfere diretamente no setor agrícola brasileiro, devido aos custos envolvidos nas atividades de transporte, em que a produção brasileira é prejudicada pelos gargalos logísticos. Amaral, Almeida e Morabito (2012) afirmam que, apesar do Brasil apresentar uma alta produtividade de soja por hectare, acaba perdendo esta vantagem no comércio do grão, devido à ineficiência das operações logísticas, principalmente relacionadas a má qualidade do transporte. Portanto, lidar com os problemas de transporte, de forma a minimiza-los, é de total importância para o Brasil manter a liderança do mercado exportador e obter maiores lucros ao longo dos anos.

2.4.1 Modais de transporte

Quanto aos modais de transporte, Ballou (2010) afirma que existem opções variadas para transporte de cargas, visto que o usuário pode escolher qual a melhor modalidade ou melhor combinação entre os modais que pode beneficiar sua logística. Filassi (2016) destaca cinco opções de transporte para serviços de cargas. Os cinco modais básicos são classificados em: rodoviário, ferroviário, aquaviário, dutoviário e aéreo.

Dentre os cinco, três são comumente utilizados para produtos de baixo valor agregado, caso da soja. Conforme Kussano e Batalha (2012), os grãos são transportados por granéis sólidos até o porto exportador, através de um modal ou mais de um modal. Os modais básicos utilizados para este tipo de atividade são o rodoviário, ferroviário e aquaviário. A Figura 16, faz um comparativo entre os três modais, relacionando a tonelagem transportada, distância e tipo de mercadoria.

Figura 16 – Comparativo entre os principais modais de transporte

			
TONELAGEM	Média	Alta	Alta
DISTÂNCIA	Pequena	Média/Grande	Média/Grande
MERCADORIA	Médio valor agregado	Baixo/Médio valor agregado	Baixo/Médio valor agregado

Fonte: CNT (2015)

Ojima e Yamakami (2006) afirmam que o modal rodoviário é o mais utilizado para o transporte da soja no Brasil. Isto ocorre devido a estrutura insuficiente de hidrovias e ferrovias, com a superioridade em números de rodovias. O problema do modal rodoviário transportar a maior parte da soja é que, este carrega 150 vezes menos soja do que o modal ferroviário e 600 vezes menos do que as barcaças utilizadas em hidrovias, além de transportar a soja por longas distâncias em estradas de péssimas condições.

Correa e Ramos (2010) reafirmam as análises sobre o modal rodoviário, ressaltando que esse modal é inadequado para transporte de longas distâncias quando se trata de *commodities*. Também ressalta que a precária malha rodoviária do país interfere diretamente nos custos logísticos, devido aos riscos que os caminhões correm nas estradas, podendo ocasionar perdas de grãos ao longo do caminho.

A Tabela 5, destaca a utilização dos modais nos três principais países exportadores de soja do mundo.

Tabela 5 – Matriz de transporte da soja dos principais produtores mundiais

Matriz de transporte da soja	Brasil	Argentina	EUA
Hidrovia	11%	2%	60%
Ferrovia	33%	18%	35%
Rodovia	56%	80%	5%
Distância média para os portos	1.000 a 1.100 km	250 a 300 km	1.000 km

Fonte: ANEC (2018)

Em muitos casos os modais ferroviário e hidroviário não fazem o trajeto da origem do grão até o destino final. Com isso, a multimodalidade (uso de dois ou mais tipos de modais) seria uma opção viável para o Brasil, onde por meio das rodovias seria feito o transporte até um modal ferroviário ou hidroviário, alternando o tipo de modal para chegar no ponto de transbordo (porto exportador) com uma movimentação mais eficiente. Conseqüentemente, o transporte rumo ao mercado externo a partir dos portos marítimos brasileiros é realizado por navios, caracterizando o transporte marítimo (CORREA; RAMOS, 2010).

Os pontos de transbordo podem ser considerados também como a utilização de mais de um modal no transporte interno, quando se quer analisar os portos exportadores como destino final. Porém, nesta pesquisa, utiliza-se os portos exportadores como pontos de transbordo, visto que a análise é voltada principalmente para a exportação, onde os destinos finais são os portos importadores, principalmente Xangai, na China.

2.5 Pesquisa Operacional

Para Loesch e Hein (2009), a Pesquisa Operacional (PO) pode ser considerada como uma ciência de estruturação de processos, tendo como objetivo proporcionar alternativas de ação através da comparação e previsão de valores, considerando também a eficiência e custos do modelo em análise. Os fundamentos desta ciência são baseados na análise de sistemas, matemática e estatística, buscando minimizar esforços e maximizar retornos de alguma atividade desenvolvida. Ainda, Arenales *et al.* (2007) afirma que a PO auxilia a tomada de decisões em sistemas que apresentam recursos escassos, cujo o objetivo é a alocação mais eficiente desses recursos.

Complementando, Marins (2011) ressalta que a PO é uma ciência criativa, que elabora pesquisas de aspectos fundamentais em operações dos mais diversos campos, proporcionando

melhores tomadas de decisão. Não obstante, Andrade (2009) complementa que por meio da PO é possível estudar variáveis elaboradas a partir de modelagem matemática de um determinado problema, otimizando resultados do objetivo proposto.

2.5.1 Modelagem

Loesch e Hein (2009) afirmam que um modelo é uma representação da realidade, com objetivo de transformar aspectos relevantes de um problema real em uma representação numérica. Esta definição se encaixa em um modelo matemático, o qual é caracterizado por um conjunto de equações e relações que constituem uma abstração da realidade. Sendo assim, a equipe de PO tem a responsabilidade de criação de modelos, a partir do conhecimento do problema, o que requer uma certa dose de abstração por parte de quem elabora (MARINS, 2011).

Além do mais, pode-se dizer que modelar representa as relações de um fenômeno e suas componentes, procurando se aproximar do comportamento real do fenômeno ou sistema (CHWIF; MEDINA, 2010). Modelagem também pode ser definida como um processo que permite testes de uma operação, através de uma função que demonstre a problemática do sistema real. Ou seja, descrever de forma matemática algum problema ou situação, para proporcionar uma análise (LIN, LIU, 2006; LAW, 2014).

Loesch e Hein (2009) afirmam que a modelagem não segue um padrão único ou uma fórmula única. Porém, há uma metodologia sugerida para construção de um modelo de otimização:

- Dividir o problema em partes menores;
- Identificar as variáveis;
- Identificar o objetivo;
- Identificar os fatores restritivos;
- Não esquecer os relacionamentos entre as variáveis, pois podem ser considerados como restrições;
- Descartar aspectos que não comprometam a otimalidade da solução.

Os modelos de otimização são utilizados quando existe o interesse em encontrar a melhor alternativa que atenda a um objetivo predeterminado. Esses modelos são formulados com a finalidade de determinar valores para um conjunto de variáveis de decisão que irão

maximizar ou minimizar uma função objetivo sujeita a restrições (LOPES, FERREIRA; LIMA, 2015).

2.5.2 Problemas de transporte

Marins (2011) afirma que a programação matemática, que envolve a Programação Linear (PL), Programação Não-Linear, Programação Inteira, entre outras, surgiu devido as necessidades de transporte decorrentes de operações com recursos escassos. Arenales *et al.* (2007) ressaltam que os Problemas de Transporte (PT) se referem a distribuição de diversos produtos, a partir de centros de origem a determinados destinos, em que o transporte deverá ser realizado de acordo com restrições de oferta e demanda, visando minimizar o custo total da operação.

O PT pode ser considerado como um modelo particularizado de Programação Linear (PL), devido a sua diversidade de aplicações em sistemas de transporte de mercadorias. A PL é uma das principais ferramentas da PO, em que a função objetivo e as restrições do modelo são caracterizadas por funções lineares (ARENALES *et al.*, 2007; LOESCH; HEIN, 2009).

Para definição de uma representação genérica do problema de transporte, é delimitado um modelo matemático construído a partir dos custos de transporte por unidade transportada, fontes e destinos, ofertas e demandas. O objetivo do modelo é minimizar o custo total necessário para suprir n destinos ou centros consumidores partindo de m origens ou centros fornecedores (GOLDBARG; LUNA, 2005; LOESCH; HEIN, 2009; HILLIER; LIEBERMAN, 2010). Desta forma, o modelo genérico para problemas de transporte é demonstrado da seguinte forma:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad \text{minimizar o custo total de transporte} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, \text{ para } i = 1, \dots, m \quad \text{as } m \text{ restrições de cada oferta } a_i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j, \text{ para } j = 1, \dots, n \quad \text{as } n \text{ restrições de cada ponto de demanda} \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0, \text{ para } i = 1, \dots, m \text{ e } j = 1, \dots, n \quad \text{as não negatividades do modelo} \quad (4)$$

Índices do modelo:

m = quantidade de origens;

n = quantidade de destinos;

i = origem;

j = destino;

Parâmetros do modelo:

c_{ij} = custo unitário de transporte da origem (i) ao destino (j);

a_i = quantidade disponível na origem i;

b_j = quantidade demandada pelo destino j;

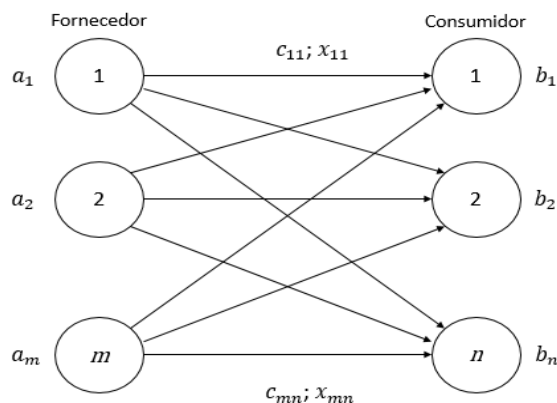
Variáveis:

x_{ij} = quantidade transportada da origem i ao destino j.

Hillier e Lieberman (2010) afirmam que o modelo pode se ajustar a qualquer problema de transporte, de acordo com a oferta e demanda do sistema. No modelo matemático demonstrado, o objetivo é minimizar o custo total de transporte (Z). Conseqüentemente, a oferta e a demanda devem ser iguais para serem satisfeitas, levando em consideração as restrições.

De acordo com Belfiore e Fávero (2013) os problemas de transporte podem ser representados através de um modelo em rede, devido à maior facilidade na compreensão do sistema e de suas características. Ainda, é comum a resolução de modelos em rede por programação linear, principalmente problemas de transporte. A seguir, a Figura 17 ilustra um modelo em rede.

Figura 17 – Rede de transporte



Fonte: Adaptado de Belfiore e Fávero (2013)

De acordo com a figura, percebe-se que uma rede é formada por um conjunto de nós, que são círculos representando a fonte e o destino de determinada mercadoria, e arcos, que são setas que fazem as conexões entre os nós, representando os custos de transporte de acordo com a quantidade do produto (ARENALES *et al.*, 2007; BELFIORE; FÁVERO, 2013). Sendo assim, o problema de transbordo também pode ser visualizado em rede, apresentando pontos intermediários entre a origem e o destino.

2.5.3 Problemas de transporte com transbordo

Para Belfiore e Fávero (2013) o problema de transbordo é um problema de transporte com pontos intermediários entre as origens e os destinos, sendo estes pontos intermediários denominados de transbordo. O transbordo pode ser representado por um centro de distribuição, terminal, porto marítimo e até mesmo uma fábrica, cujo o objetivo é proporcionar uma conexão entre origens e destinos, de forma a minimizar os custos logísticos (ARENALES *et al.*, 2007).

O problema de transbordo apresenta uma modelagem praticamente igual ao problema de transporte, acrescentando-se apenas o parâmetro k , que representa o ponto de transbordo (ARENALES *et al.*, 2007). Sendo assim, a formulação geral do problema de transbordo é demonstrada da seguinte forma:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij,k} x_{ij,k} \quad (5)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij,k} \leq a_i \quad , \text{ para } i = 1, \dots, m \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij,k} \geq b_j \quad , \text{ para } j = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} = \sum_{j=1}^n x_{kj} \quad , \text{ para } k = 1, \dots, k \quad (8)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad , \text{ para } i = 1, \dots, m \text{ e } j = 1, \dots, n \quad (9)$$

Belfiore e Fávero (2013) afirmam que o custo unitário de transporte (c_{ijk}) é constituído pela soma dos custos unitários de transporte da origem (fornecedor) i para o ponto de transbordo

k (c_{ik}) e do ponto de transbordo k para o destino (consumidor) j (c_{jk}). Sendo assim, é expresso o custo unitário total, na seguinte soma:

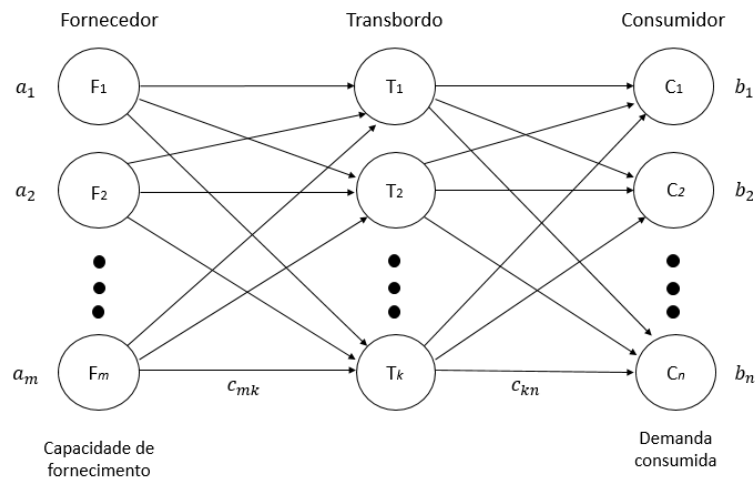
$$c_{ij,k} = c_{ik} + c_{kj}$$

Esta relação também é feita para as quantidades transportadas, caracterizada pela soma da quantidade transportada da origem i para o ponto de transbordo k (x_{ik}) do ponto de transbordo para k para o destino j (x_{kj}). A seguir, a soma expressa definindo a quantidade total:

$$x_{ij,k} = x_{ik} + x_{kj}$$

Portanto, assim como o problema de transportes, o problema de transbordo é modelado em programação linear, com objetivo de minimizar o custo total de transporte (BELFIORE; FÁVERO, 2013). O problema de transbordo também pode ser representado em rede, como é ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Rede de transporte com transbordo



Fonte: Adaptado de Belfiore e Fávero (2013)

Almeida *et al.* (2013) afirmam que o processo de exportação é abordado como um problema de transbordo, pois entre a origem e o destino da carga, há um ponto de transbordo, onde há uma intermodalidade para o transporte ao mercado externo. Sendo assim, na maioria das vezes a soja é transportada por caminhões, da origem até o transbordo (porto exportador), e conseqüentemente é transportada por navios até o seu destino no mercado externo, como por exemplo, a soja destinada a Europa e China.

3 METODOLOGIA

Para que o leitor tenha conhecimento de como ocorreu a elaboração e estruturação do estudo, o método de pesquisa se apresenta como um conjunto de atividades sistemáticas, indicando um caminho para quem deseja entender a abordagem da pesquisa. Sendo assim, estes procedimentos proporcionam a construção do conhecimento das técnicas e ferramentas utilizadas (MARCONI; LAKATOS, 2002; HASEGAWA, 2016). Rodrigues (2005) ressalta que a metodologia é essencial para o estudo e deve ser exposta de modo claro e detalhado, com objetivo de proporcionar o conhecimento, para que o leitor seja capaz de reproduzir, se necessário, a temática do estudo.

3.1 Classificação da pesquisa

Uma pesquisa pode ser classificada segundo sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos técnicos (HASEGAWA, 2016). A linha desta pesquisa pode ser caracterizada pelas seguintes classificações, dispostas no Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação da pesquisa

Natureza	Aplicada, pois a aplicação prática do modelo pode gerar a solução de problemas do objeto de estudo, auxiliando na tomada de decisão dos problemas relacionados ao transporte da soja, destinada à exportação.
Abordagem	Pesquisa Combinada, devido a utilização em algumas etapas de aspectos quantitativos, como o uso de técnicas matemáticas para análise de números, junto com aspectos qualitativos, como a relação dinâmica entre o mundo real e o objeto de pesquisa, caracterizando a interpretação dos fenômenos.
Objetivos	Normativa, pois busca soluções por meio de estratégias elaboradas para o sistema proposto, comparando e analisando alternativas para o problema.
Procedimento Técnico	Estudo de caso, pois estabelece um estudo profundo do sistema logístico, permitindo o conhecimento detalhado da problemática e de suas alternativas.

Fonte: Autor (2018)

O desenvolvimento do trabalho foi realizado em duas macro etapas, delimitadas a seguir, juntamente com os procedimentos utilizados em cada uma.

Revisão bibliográfica: Tendo como objetivo a construção do referencial bibliográfico, foram realizadas pesquisas em relação ao tema deste trabalho. A estruturação dessa pesquisa foi realizada com base em Revisão Sistemática da Literatura (RSL), técnica utilizada principalmente em trabalhos de Tranfield, Denyer e Smart (2003), Denyer e Tranfield (2009) e

Loureiro *et al.* (2016) em que se permite sumarizar os assuntos abordados em cada trabalho, identificando os principais métodos abordados nas pesquisas, conseqüentemente, facilitando futuras análises e elaborações de trabalhos relacionados a temas similares (CHROCHANE LIBRARY, 2018; LOPES, 2017).

Em relação a busca de artigos científicos, foram utilizadas 4 bases de dados, as quais são: *Google Scholar*, *Science Direct*, anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP) e Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transporte (ANPET). A pesquisa foi realizada com base nas publicações em inglês e português, com delimitação dos anos de 2004 a 2018, devido a produção e exportação de soja apresentar maior referência nos últimos anos no Brasil, com maior quantidade de trabalhos relacionados ao tema.

As palavras-chave utilizadas no *Google Scholar* e *Science Direct* foram: “*logistics*”, “*soybean*”, “*Matopiba*”. Porém, a utilização de palavras separadas gerou milhares e milhões de resultados, dificultando o desenvolvimento da pesquisa, pois além da elevada quantidade, muitos trabalhos não se encaixavam no interesse da pesquisa. Sendo assim, foram utilizadas palavras combinadas, demonstradas na Tabela 6, juntamente com a quantidade de artigos encontrados em cada base de dados.

Tabela 6 - Quantidade de artigos encontrados com base nas palavras-chave

Palavras-chave	Base de dados consultada	
	<i>Google Scholar</i>	<i>Science Direct</i>
<i>Logistics Soybean Brazil</i>	14.700	498
<i>Logistics Soybean Matopiba</i>	107	1
<i>Soybean Matopiba</i>	251	10

Fonte: Autor (2018)

Mesmo pesquisando com palavras combinadas, o número de trabalhos encontrados no *Google Scholar* foi alto. Portanto, em uma primeira análise, foram lidos apenas o título dos primeiros artigos encontrados na pesquisa, ou seja, de 14.700 artigos encontrados para uma combinação de palavras, foram lidos o título dos primeiros 500 artigos, pois seria inviável ler todos os títulos e também muitos trabalhos se repetem na busca. A Tabela 7 mostra o número de títulos lidos de cada pesquisa de acordo com a base de dados consultada.

Tabela 7 - Quantidade de títulos lidos em cada base de dados

Palavras-chave	Títulos lidos	
	<i>Google Scholar</i>	<i>Science Direct</i>
<i>Logistics Soybean Brazil</i>	500	498
<i>Logistics Soybean Matopiba</i>	107	1
<i>Soybean Matopiba</i>	251	10

Fonte: Autor (2018)

A Tabela 7 mostra que todos os títulos de artigos do *Science Direct* e apenas alguns do *Google Scholar* foram lidos. Após a leitura dos títulos, foram separados artigos para leitura do resumo, com objetivo de separar os artigos que apresentassem maiores semelhanças com o tema proposto, para melhor análise dos trabalhos. A Tabela 8 demonstra o número de artigos que foram selecionados para leitura do resumo.

Tabela 8 - Quantidade de artigos para leitura de resumos

Palavras-chave	Resumos lidos	
	<i>Google Scholar</i>	<i>Science Direct</i>
<i>Logistics Soybean Brazil</i>	110	92
<i>Logistics Soybean Matopiba</i>	107	1
<i>Soybean Matopiba</i>	100	10

Fonte: Autor (2018)

A partir da leitura dos resumos, 34 artigos foram selecionados para leitura completa. Ao fim desta leitura completa, 19 artigos indexados foram selecionados. Em relação ao banco de dados do ENEGEP (Encontro Nacional de Engenharia de Produção), foram pesquisados trabalhos entre os anos de 2004 a 2017, com as seguintes palavras-chave: “soja” e “transporte soja”. Quando pesquisados com as palavras-chave usadas na busca em outras bases de dados, como as citadas nas tabelas anteriores, não era obtido nenhum resultado nos anais do ENEGEP.

Portanto, a busca nos anais do ENEGEP gerou um total de 74 artigos para a palavra “soja” e 16 artigos para as palavras “transporte soja”. Dos 16 artigos encontrados, todos estavam inclusos nos 74 da primeira pesquisa. Seguindo a metodologia da RSL, foram separados 12 artigos para leitura completa, o que gerou a delimitação de 5 artigos relacionados

ao tema pesquisado. A mesma base de pesquisa foi utilizada nos anais da ANPET, gerando 3 artigos utilizados nas referências bibliográficas deste trabalho.

Contudo, a especificidade de conteúdo do tema deste trabalho levou a outras pesquisas documentais, em meio a relatórios governamentais, associações, institutos de pesquisa, dissertações e teses, entre outros artigos de congressos nacionais, além de reportagens oficiais em revistas e meios eletrônicos. Além das pesquisas direcionadas a logística da soja, foram feitas pesquisas para a elaboração de embasamento científico em relação à pesquisa operacional e modelagem, através de livros, artigos, trabalhos de conclusão de curso, teses e dissertações.

Estudo de caso: Nesta etapa, primeiramente, utiliza-se de dados referentes a produção e exportação de soja da região Matopiba, a partir de dados quantitativos divulgados no site do IBGE e no sistema ALICEWEB. Além destes, alguns números foram obtidos nos relatórios do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, sigla em inglês), elaborados por Salin e relatórios da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Já os custos de transporte foram atribuídos a partir dos trabalhos de Assis *et al.* (2014), Lopes, Ferreira e Lima (2015), Lopes (2017), Salin (2018) e no Sistema de Informações de Fretes (SIFRECA) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-LOG).

Os números utilizados no estudo de caso foram adaptados de acordo com a realidade da produção e exportação de soja, juntamente com a definição das origens, pontos de transbordo e destinos finais, para a modelagem do sistema, baseado em PL e em função dos custos de transporte. As análises das rotas de escoamento da soja foram feitas utilizando Google Maps® para o cálculo das distâncias e, conseqüentemente, a construção do modelo matemático e sua resolução através do *software* EXCEL®, com a ferramenta SOLVER, para otimizações baseadas nos cenários propostos.

4 ESTUDO DE CASO

Neste tópic, é construído o modelo matemático para o problema, com base nas definições de origens, pontos de transbordo e destinos finais. A partir destes dados, juntamente com os custos de transporte e deslocamento da soja, é possível construir os cenários, e consequentemente as análises comparativas entre os mesmos.

4.1 Modelo matemático do problema

Neste trabalho é aplicado o problema de transbordo, baseando-se na metodologia proposta por Belfiore e Fávero (2013) e Arenales *et al.* (2007), incorporando variáveis específicas do sistema estudado. Assim, o modelo matemático geral para o sistema estudado é formulado de acordo com as equações a seguir:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o ((c_{ik} d_{ik}) + (c_{kj} d_{kj})) \cdot x_{ij,k} \quad (10)$$

Seguindo às seguintes restrições gerais:

- Composição de custos:

Para c_{ik} , da origem até os portos exportadores (pontos de transbordo), temos:

$$c_{ik} = c_r + c_f + c_h + c_{mult} \quad (11)$$

Em que:

c_r : Custo de transporte rodoviário, em R\$/TON.km;

c_f : Custo de transporte ferroviário, em R\$/TON.km;

c_h : Custo de transporte hidroviário, em R\$/TON.km;

c_{mult} : Custo de multimodalidade, em R\$/TON.km.

Sendo

$$mult \geq 0$$

$$c_{mult} \geq mult \cdot c_{multunit}$$

Em que:

$mult$ = Número de multimodalidades para x_{ik}

$c_{multunit}$ = Custo unitário de multimodalidade, em R\$/TON.km

Para c_{kj} (do ponto de transbordo k até o destino final j), temos:

$$c_{kj} = c_m \quad (12)$$

Em que:

c_m = Custo de transporte marítimo, em R\$/TON.km

- Capacidade dos portos:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij,k} \leq K_k, \text{ para } k = 1, \dots, o \quad (13)$$

- Oferta das origens:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij,k} \leq a_i, \text{ para } i = 1, \dots, m \quad (14)$$

- Quantidade demandada:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij,k} \geq b_j, \text{ para } j = 1, \dots, n \quad (15)$$

- Igualdade das quantidades

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} \leq \sum_{j=1}^n x_{kj}, \text{ para } k = 1, \dots, k \quad (16)$$

- Condições de não negatividade:

$$x_{ij,k} \geq 0, \text{ para } i = 1, \dots, m; o = 1, \dots, k; j = 1 \quad (17)$$

Em que:

m : número de origens produtoras de soja;

n : número de portos importadores ou destinos finais;

o : número de portos exportadores ou pontos de transbordo;

K_k : capacidade do porto exportador k ;

a_i : quantidade ofertada em cada origem i ;

b_j : quantidade demandada em cada destino j ;

c_{ik} : custo da movimentação logística entre a origem i até o porto exportador k ;

d_{ik} : distância entre a origem i até o porto exportador k ;

c_{kj} : custo da movimentação logística entre o porto exportador k até o destino j ;

d_{kj} : distância entre o porto exportador k até o destino j ;

$x_{ij,k}$: quantidade transportada da origem i até o destino j , através do porto exportador k ;

Z : custo total da operação logística.

Vale salientar que, este modelo pode sofrer alterações em suas restrições, de acordo com os cenários logísticos construídos no estudo, para a exportação de soja da região Matopiba. Sendo assim, o modelo matemático de transbordo, é uma forma de demonstrar de uma maneira geral, o problema em números, equações e variáveis.

4.2 Definição dos dados

A partir dos índices de produção dos anos anteriores, de cada mesorregião dos estados pertencentes ao Matopiba, foi possível fazer a proporcionalidade dos números para o ano de 2017, devido ao detalhamento da produção referente ao ano de 2017 de cada mesorregião não estar disponível no sistema do SIDRA, no período de elaboração desta pesquisa. Porém, os dados das exportações estão disponíveis no sistema do comércio exterior ALICEWEB. Para apurar a produção de cada mesorregião, a proporcionalidade dos índices de produção foi aplicada, baseando-se na participação de cada mesorregião na produção total do estado. Vale salientar que a colheita da safra 2016/17 ocorre no ano de 2017. Sendo assim, as exportações de 2017 serão referentes a produção da safra 2016/17.

Portanto, serão consideradas as cidades de maior índice de produção de soja, referentes a cada mesorregião. Como os dados de produção por mesorregião disponíveis no SIDRA referem-se aos anos anteriores a 2017, será elaborada uma parametrização de acordo com a porcentagem produtiva de cada mesorregião, tendo como referência a produção da safra 2016/17 disponibilizada pela CONAB (2017a).

4.3 Origens consideradas

As mesorregiões produtoras de soja da região Matopiba são: Oeste Maranhense (OMA), Centro Maranhense (CMA), Leste Maranhense (LMA), Sul Maranhense (SMA), Ocidental Tocantins (OCT), Oriental Tocantins (ORT), Norte Piauiense (NPI), Centro-Norte Piauiense (CNP), Sudoeste Piauiense (SDP), Extremo Oeste Baiano (EOB) e Vale São Franciscano da Bahia (VSF). A Tabela 9 demonstra os índices de produção da safra 2016/17, de cada mesorregião, e suas respectivas cidades que serão consideradas como origem de partida da soja.

Tabela 9 – Produção por mesorregiões, safra 2016/17

Mesorregiões	Cidades de origem	Produção por mesorregião (Ton.)
Oeste Maranhense	Açailândia	88.851
Centro Maranhense	Grajaú	33.319
Leste Maranhense	Brejo	266.554
Sul Maranhense	Balsas	1.832.558
Ocidental Tocantins	Caseara	1.584.070
Oriental Tocantins	Mateiros	1.515.871
Norte Piauiense	Piracuruca	1.955
Centro-Norte Piauiense	Regeneração	19.548
Sudoeste Piauiense	Baixa Grande do Ribeiro	1.933.301
Extremo Oeste Baiano	Formosa do Rio Preto	5.328.705
Vale São Franciscano Bahia	Serra do Ramalho	10.679
TOTAL		12.615.412

Fonte: Autor, com base em CONAB (2017a) e SIDRA (2018)

Sendo assim, a soja teria como ponto de partida as cidades demonstradas na Tabela 9 para cada mesorregião pertencente, com uma oferta determinada por uma porcentagem do total produzido. Ou seja, nem toda soja produzida é destinada à exportação.

4.3 Destinos

Do total de 7,82 milhões de toneladas de soja exportada pelo Matopiba, a China foi responsável por importar 5,81 milhões de toneladas. Logo em seguida, países da União Europeia são outros principais importadores da soja (ALICEWEB, 2018). Em relatório, Salin (2018) demonstra que os principais destinos são os portos de Xangai (XNG), na China, e Hamburgo (HAM), na Alemanha. Portanto, este estudo abordará estes dois destinos para a exportação.

Vale ressaltar que, dos países europeus, os maiores clientes do Matopiba são Espanha, Portugal e Holanda (ALICEWEB, 2018). Porém, no relatório de Salin (2018), toma-se como ponto de referência europeia o porto de Hamburgo como destino da soja.

4.4 Transbordos

Para a construção do modelo, foram considerados apenas os portos da região Norte e Nordeste, juntamente com os portos de Santos e Vitória, devido a melhor distribuição espacial com relação as distâncias, pois se trata de um estudo para analisar potencialidades e redução de

custos. Os portos considerados no trabalho foram Itaqui (ITA), Barcarena (BAR), Salvador (SAL), Santos (SNT), Pecém (PEC), Suape (SUA), Ilhéus (ILH), Vitória (VIT) e Itacoatiara (ITC) e Santarém (STM).

O modelo estruturado para as análises de transporte é considerado estático, visto que são atribuídos parâmetros de localização visando a operacionalização da multimodalidade de algumas origens em direção aos pontos de transbordo. A geografia do Brasil é ampla, porém uma análise das alternativas viáveis em termos de distâncias foi considerada para a esquematização dos fluxos. A seguir, são explicadas as rotas para os portos exportadores:

- Porto do Itaqui: As cidades de origem do Tocantins apresentam multimodalidade no fluxo da soja rumo ao porto do Itaqui, devido a malha da FNS apresentar-se como opção viável no transporte. Sendo assim, o transporte da cidade de Caseara é feito por rodovia até o terminal de Porto Franco (MA), e a partir deste ponto segue pela FNS e Ferro Carajás até Itaqui. Já para a cidade de Mateiros, utiliza-se rodovias até o terminal de Palmas (TO), seguindo a partir deste ponto por meio da FNS e Ferro Carajás, até o porto do Itaqui. As demais rotas das cidades do Matopiba em direção ao porto do Itaqui serão realizadas por meio rodoviário.
- Porto de Salvador: As rotas para o porto de Salvador foram consideradas por meio rodoviário, visto que os acessos via multimodal para este ponto ainda estão sendo planejados pelo Governo Federal.
- Porto de Barcarena: Os acessos para Barcarena foram considerados em primeiro caso somente com a utilização de rodovias. Porém, fez-se também uma análise de uma rota potencial utilizando rodovia até a cidade de Conceição do Araguaia (PA), seguindo pelo modal hidroviário até o porto de Barcarena. Vale lembrar que esta rota multimodal ainda não se encontra em operação.
- Porto de Itacoatiara: Utilização de rodovias das origens até a cidade de Porto Velho (RO), seguindo pelo modal hidroviário do Rio Madeira, até o porto de Itacoatiara.
- Porto de Santarém: Utilização de rodovias das origens até a cidade de Itaituba (Porto de Miritituba), seguindo pelo modal hidroviário até o porto de Santarém.
- Porto do Pecém: Transporte por rodovias das origens até o porto do Pecém. Vale ressaltar que, este porto não exporta soja, porém será considerado em alguns cenários para potenciais análises de utilização de alternativas portuárias para a região Matopiba.
- Porto de Suape: Transporte por rodovias das origens até o porto de Suape. Este porto se apresenta no mesmo cenário que o porto do Pecém, em que não exporta soja atualmente

e será considerado para compor alternativas e possíveis direcionamentos de investimentos.

- Porto de Ilhéus: Utilização de rodovias das origens até o porto de Ilhéus.
- Porto de Vitória: Utilização de rodovias até o terminal de Pirapora (MG), seguindo pelo modo ferroviário até o porto de Vitória.
- Porto de Santos: Transporte por rodovias das origens até o porto de Santos.

A partir destas definições de rotas, é possível fazer a contabilização das distâncias de cada origem, para cada ponto de transbordo, e conseqüentemente, as distâncias até os destinos finais.

4.5 Distâncias e rede de transporte

Para o estudo dos fluxos da soja, foram obtidos os valores das distâncias de cada origem para cada porto exportador, de acordo com o modal de transporte a ser utilizado. A seguir, as Tabelas 10 e 11 demonstram as distâncias e o modo de transporte utilizado.

Tabela 10 – Distâncias entre as origens e os pontos de transbordo, em km

Mesorregião	Cidade Origem	Itaqui (MA)			Salvador (BA)			Barcarena (PA)			Itacoatiara (AM)			Santarém (PA)		
		R	F	H	R	F	H	R	F	H	R	F	H	R	F	H
Oeste (MA)	Açailândia	569	-	-	1.813	-	-	504	-	-	2.482	-	1.100	1.226	-	259
Centro (MA)	Grajaú	571	-	-	1.557	-	-	759	-	-	2.689	-	1.100	1.434	-	259
Leste (MA)	Brejo	321	-	-	1.399	-	-	976	-	-	3.154	-	1.100	1.898	-	259
Sul (MA)	Balsas	821	-	-	1.455	-	-	961	-	-	2.776	-	1.100	1.521	-	259
Ocidental (TO)	Caseara	594	691	-	1.701	-	-	1.046	-	-	2.508	-	1.100	1.566	-	259
Oriental (TO)	Mateiros	305	1.195	-	1.179	-	-	1.403	-	-	3.201	-	1.100	1.922	-	259
Norte (PI)	Piracuruca	567	-	-	1.353	-	-	1.222	-	-	3.356	-	1.100	2.100	-	259
Centro-Norte (PI)	Regeneração	582	-	-	1.054	-	-	1.124	-	-	3.128	-	1.100	1.962	-	259
Sudoeste (PI)	Baixa Grande do Ribeiro	980	-	-	1.220	-	-	1.262	-	-	3.077	-	1.100	1.821	-	259
Extremo Oeste (BA)	Formosa do Rio Preto	1.265	-	-	952	-	-	1.491	-	-	3.293	-	1.100	2.050	-	259
Vale São Franciscano (BA)	Serra do Ramalho	1.641	-	-	835	-	-	1.961	-	-	3.217	-	1.100	2.536	-	259

R - Rodoviário

F - Ferroviário

H - Hidroviário

Fonte: Autor, com base em Google Maps (2018), Lopes, Ferreira e Lima (2015) e Lopes (2017)

Vale ressaltar que, na Tabela 10, as rotas para Barcarena são somente rodoviárias, assim como as rotas para Salvador e algumas rotas que se dirigem ao porto do Itaqui. Na Tabela 11, a única rota multimodal, é para o porto de Vitória, demonstrada a seguir.

Tabela 11 – Distâncias entre as origens e os pontos de transbordo, em km

Mesorregião	Cidade Origem	Pecém (CE)			Suape (PE)			Ilhéus (BA)			Vitória (ES)			Santos (SP)		
		R	F	H	R	F	H	R	F	H	R	F	H	R	F	H
Oeste (MA)	Açailândia	1.258	-	-	1.803	-	-	2.056	-	-	1.964	1.000	-	2.435	-	-
Centro (MA)	Grajaú	1.004	-	-	1.547	-	-	1.802	-	-	1.945	1.000	-	2.421	-	-
Leste (MA)	Brejo	602	-	-	1.389	-	-	1.644	-	-	2.138	1.000	-	2.963	-	-
Sul (MA)	Balsas	1.156	-	-	1.445	-	-	1.599	-	-	1.518	1.000	-	2.343	-	-
Ocidental (TO)	Caseara	1.750	-	-	2.137	-	-	1.743	-	-	1.428	1.000	-	1.948	-	-
Oriental (TO)	Mateiros	1.546	-	-	1.613	-	-	1.262	-	-	1.170	1.000	-	1.920	-	-
Norte (PI)	Piracuruca	396	-	-	1.231	-	-	1.598	-	-	2.152	1.000	-	2.961	-	-
Centro-Norte (PI)	Regeneração	712	-	-	1.044	-	-	1.300	-	-	1.784	1.000	-	2.593	-	-
Sudoeste (PI)	Baixa Grande do Ribeiro	1.182	-	-	1.469	-	-	1.356	-	-	1.470	1.000	-	2.279	-	-
Extremo Oeste (BA)	Formosa do Rio Preto	1.377	-	-	1.451	-	-	1.072	-	-	991	1.000	-	1.816	-	-
Vale São Franciscano (BA)	Serra do Ramalho	1.511	-	-	1.492	-	-	708	-	-	686	1.000	-	1.644	-	-

R - Rodoviário
F - Ferroviário
H - Hidroviário

Fonte: Autor, com base em Google Maps (2018), Lopes, Ferreira e Lima (2015) e Lopes (2017)

Assim como no fluxo de transporte interno, demonstrados nas Tabelas 10 e 11, as distâncias para o transporte externo (marítimo) foram calculadas, com base em dados disponibilizados por Salin (2018) e *Sea Distance* (2018), demonstradas na Tabela 12.

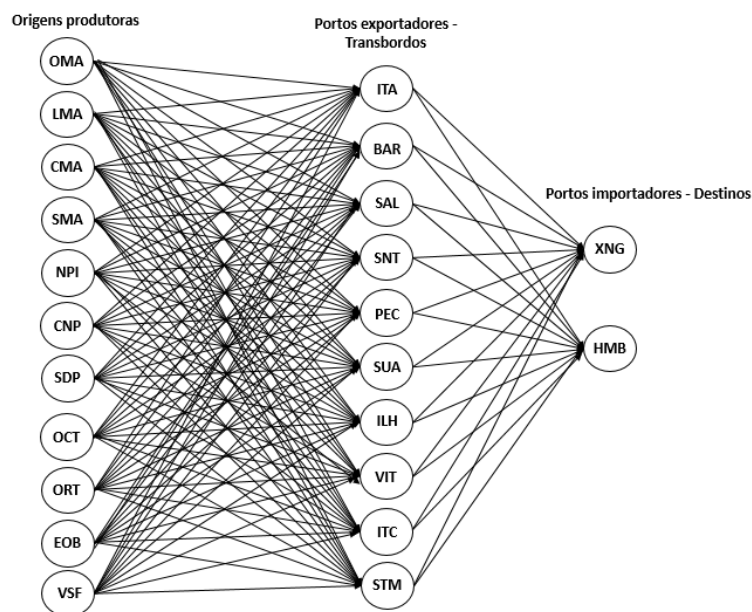
Tabela 12 – Distâncias dos portos exportadores para os destinos

Transbordo Porto exportador	Distância em Km		
	Canal do Panamá	Cabo da Boa Esperança	Caminho Direto
	Xangai	Xangai	Hamburgo
Itaqui (MA)	20.533	21.683	8.077
Salvador (BA)	22.539	20.366	8.910
Barcarena (PA)	20.326	22.324	8.353
Ilhéus (BA)	22.628	20.250	9.053
Santarém (PA)	21.002	23.048	9.056
Santos (SP)	24.156	20.476	10.525
Vitória (ES)	23.311	20.107	9.680
Pecém (CE)	21.085	20.979	7.906
Suape (PE)	21.822	20.342	8.199
Itacoatiara (AM)	20.235	23.854	9.784

Fonte: Autor, com base em Salin (2018) e *Sea Distance* (2018)

Com base na definição dos fluxos, das origens, passando pelos pontos de transbordo, em direção ao destino final, pode-se representar o modelo através de uma rede. Esta representa todos os possíveis fluxos de transporte da soja, como mostra a Figura 19.

Figura 19 – Rede de transporte da soja para este estudo



Fonte: Autor (2018)

Com base na Figura 19, a rede de transporte para este estudo é formada por 11 origens, 10 pontos de transbordo e 2 destinos finais, totalizando 220 fluxos para transporte das origens até os pontos de transbordo e 40 fluxos dos pontos de transbordo aos destinos finais.

4.6 Custos de transporte

Para a construção dos cenários, foram estabelecidos os custos por tonelada – quilômetro para cada modal de transporte a ser utilizado. O custo médio rodoviário foi obtido através do SIFRECA, já os outros custos, como ferroviário e hidroviário estão disponíveis nos trabalhos de Assis *et al.* (2014), Lopes, Ferreira e Lima (2015), Lopes (2017) e Salin (2018), sendo que foi necessária uma parametrização para a cotação mais atual do dólar, visto que os custos estavam relacionados com valores diferentes da moeda atual. Alocando para o mais atual dólar, em torno de R\$ 3,50 do mês de maio de 2018, obteve-se os custos demonstrados na Tabela 13.

Tabela 13 – Custos de transporte interno

Modal	Custo (R\$/Ton.km)
Rodoviário	0,1624
Ferrovário (mais de 1000 km)	0,0614
Ferrovário (menos de 1000 km)	0,0792
Hidroviário	0,027

Fonte: Autor, com base em Assis *et al.* (2014), Lopes (2017) e Salin (2018)

Nos trajetos que utilizam mais de um modal de transporte, atribui-se o custo de multimodalidade, que é o custo de alocação da carga. Baseando-se em Lopes (2017), este custo foi cotado para valores atuais, e equivale a 2,22 R\$/ton. O modelo deste estudo não considera custos relacionados com a alocação de cargas nos portos, visto que esta operação acontece em todas as alternativas portuárias para a exportação da soja. Sendo assim, como todos os portos têm os custos de alocação, decidiu-se focar nos custos internos de multimodalidade, já que nem todas as rotas possuem trajetos multimodais.

Para o custo marítimo, foi elaborado um método de custos proporcionais, baseando-se em Salin (2018) para alguns portos brasileiros. Com isso, é possível relacionar custos com as distâncias dos portos exportadores aos destinos finais da soja, alocando-os proporcionalmente. Este método utiliza-se dos custos da rota via Cabo da Boa Esperança para calcular custos via Canal do Panamá. Ou seja, trajetos com distâncias equivalentes são relacionados de forma proporcional.

Em Salin (2018), estão disponíveis os custos de transporte dos portos de Santos, Itaqui e Santarém. A partir destes, foi possível aplicar a proporcionalidade de distâncias com base nos portos que apresentam distâncias semelhantes rumo ao mercado externo. O porto de Santos serviu como parâmetro para calcular os custos dos portos de Vitória, Suape, Ilhéus e Salvador. Já o porto do Itaqui serviu para calcular os custos de Barcarena e Pecém. Por fim, a partir do porto de Santarém, foi possível calcular os custos de Itacoatiara rumo ao mercado externo. A tabela a seguir demonstra estes custos.

Tabela 14 – Custos marítimos

Custo de transporte do transbordo ao destino final (R\$/ton)			
Transbordo	Canal do Panamá	Cabo Boa Esperança	Caminho Direto
Porto exportador	Xangai	Xangai	Hamburgo
Itaqui (MA)	109,10	103,46	70,70
Salvador (BA)	122,20	93,56	82,30
Barcarena (PA)	108,04	106,51	73,11
Ilhéus (BA)	122,63	93,03	83,62
Santarém (PA)	114,88	107,63	83,65
Santos (SP)	127,49	94,08	85,75
Vitória (ES)	123,53	92,37	78,86
Pecém (CE)	115,27	100,10	69,20
Suape (PE)	118,79	93,45	71,76
Itacoatiara (AM)	107,63	111,41	79,71

Fonte: Autor, com base em Salin (2018)

Além do mais, na rota via Canal do Panamá, insere-se o custo de pedágio, sendo parametrizado para a cotação mais atual. Portanto, o custo de pedágio de uma tonelada de soja transportada por um navio *neo panamax*, o mais recente utilizado nas novas eclusas do canal, custa 14,67 R\$/ton (LOPES *et al.*, 2017).

Para os portos brasileiros com destino ao porto de Hamburgo, também se utilizou dos custos disponíveis em Salin (2018), relacionando com as distâncias dos mesmos portos exportadores, citados anteriormente.

4.7 Construção de cenários e suas delimitações

No seguinte estudo, são elaborados oito cenários, sendo os dois últimos cenários abordando uma capacidade futura de exportação da soja do Matopiba, com base em previsões do MAPA (2017). Os cenários são construídos alterando a capacidade dos portos exportadores e rotas de escoamento do grão rumo a estes portos. Para as origens, utilizou-se valores proporcionais de produção da safra 2016/17, conseqüentemente, exportações de 2017, admitindo que 80% da soja produzida em cada mesorregião esteja disponível para exportação. Nos dois últimos cenários, as quantidades produzidas pelas origens são alteradas, de acordo com a previsão de produção do MAPA (2017) para 2027, aumentando também a quantidade demandada pelos destinos finais, mas sempre mantendo os índices de 80% da produção destinada à exportação.

Com o principal objetivo de minimizar os custos totais de transporte em cada cenário, o estudo também toma como dimensões, possíveis investimentos para escoamento do grão, integração logística e capacidade de portos do Arco Norte, a partir do resultado das otimizações. A Tabela 15, demonstra as ofertas das mesorregiões e a demanda dos destinos no ano de 2017.

Tabela 15 – Ofertas e demandas em 2017

Mesorregiões	Oferta (Ton.)	Destinos	Demanda (Ton.)
Oeste Maranhense	71.081		
Centro Maranhense	26.655		
Leste Maranhense	213.243		
Sul Maranhense	1.466.047	Xangai	5.811.243
Ocidental Tocantins	1.267.256		
Oriental Tocantins	1.212.697		
Norte Piauiense	1.564	Hamburgo	1.023.903
Centro-Norte Pi	15.638		
Sudoeste Pi	1.546.641		
Extremo Oeste Ba	4.262.964		
Vale São Franciscano Ba	8.543		

Fonte: Autor, com base em ALICEWEB (2018) e SIDRA (2018)

Na Tabela 15, é possível perceber que a maior quantidade de soja demandada provém da China, e a mesorregião que apresenta maior oferta é o Extremo Oeste Baiano, que tem o maior índice de produção do Matopiba. Portanto, a partir destes dados, é possível construir os cenários, de acordo com as restrições que forem impostas para cada um deles.

Para a construção dos três primeiros cenários, utilizou-se das rotas mostradas nas tabelas 10 e 11. Sendo assim, no cenário 1, não foram estabelecidas restrições para a capacidade dos portos exportadores, tendo como objetivo verificar o comportamento do fluxo de soja para os portos de melhor localização, em que o modelo proporcione direcionamento para os menores custos, desprezando restrições reais.

No cenário 2, foram utilizados os portos atuais que a região Matopiba utiliza, excluindo os portos de Pecém, Suape, Itacoatiara e Santarém, para obter uma configuração próxima da realidade atual. Sendo assim, as capacidades dos portos utilizados no cenário 2 foram as quantidades reais que chegaram da região Matopiba para os mesmos, no ano de 2017, mostradas na Tabela 4. Apesar da região utilizar os portos de Rio Grande (RS) e Pacaraima (RR), estes não são considerados neste estudo. Portanto, serão apenas atribuídas as cargas aos portos que se fazem presentes neste trabalho.

No cenário 3, restringiu-se a capacidade do porto do Itaqui em 2 milhões de toneladas, para evitar congestionamentos neste porto, que é o mais utilizado. Além disso, foi atribuída uma restrição de 2 milhões de toneladas para os portos já utilizados pela região, e 1 milhão de toneladas para os demais, incluindo os que não exportam soja, tendo como objetivo, equilibrar as quantidades enviadas e não congestionar também os portos de Salvador e Barcarena. As restrições para estes cenários encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16 – Restrições para os cenários 1, 2 e 3

Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
Portos exportadores	Capacidade (Ton.)	Portos exportadores	Capacidade (Ton.)	Portos exportadores	Capacidade (Ton.)
Itaqui	Sem restrições	Itaqui	4.436.571	Itaqui	2.000.000
Salvador	Sem restrições	Salvador	3.153.225	Salvador	2.000.000
Barcarena	Sem restrições	Barcarena	117.747	Barcarena	2.000.000
Ilhéus	Sem restrições	Ilhéus	89.919	Ilhéus	2.000.000
Santarém	Sem restrições	Santarém	0	Santarém	1.000.000
Santos	Sem restrições	Santos	7.963	Santos	2.000.000
Vitória	Sem restrições	Vitória	4.200	Vitória	2.000.000
Pecém	Sem restrições	Pecém	0	Pecém	1.000.000
Suape	Sem restrições	Suape	0	Suape	1.000.000
Itacoatiara	Sem restrições	Itacoatiara	0	Itacoatiara	1.000.000

Do cenário 4 ao 6, utilizou-se da rota multimodal para Barcarena, pela hidrovía Araguaia-Tocantins. Além disso, foram atribuídos os custos do modal ferroviário para as rotas rodoviárias que ligam as origens produtoras aos portos de Pecém, Suape, Salvador e Ilhéus. Ou seja, admitiu-se que 30% do valor destas distâncias seriam analisadas com o custo rodoviário de transporte (R\$/Ton.km) e os outros 70% do valor destas distâncias seriam calculados com o custo do modal ferroviário (R\$/Ton.km), incluindo o custo de multimodalidade. Por exemplo, da cidade de Formosa do Rio Preto para o porto do Pecém são 1.377 km de distância, em que 30% desta distância admite-se como custos rodoviários e os outros 70% atribui-se os custos como modal ferroviário.

Apesar de não serem valores precisos para as distâncias de ferrovias em processo de construção na região, estas atribuições foram feitas para analisar aproximadamente os custos, de uma provável utilização das malhas ferroviárias que estão em construção, visto que estas visam interligar a região aos portos citados. Já a distância para Barcarena através da hidrovía Araguaia-Tocantins pode ser visualizada na tabela a seguir.

Tabela 17 - Distâncias utilizando a hidrovía Araguaia-Tocantins para Barcarena

Mesorregião	Cidade Origem	Barcarena (PA)		
		R	F	H
Oeste (MA)	Açailândia	570	-	1.083
Centro (MA)	Grajaú	556	-	1.083
Leste (MA)	Brejo	1.142	-	1.083
Sul (MA)	Balsas	539	-	1.083
Ocidental (TO)	Caseara	217	-	1.083
Oriental (TO)	Mateiros	623	-	1.083
Norte (PI)	Piracuruca	1.222	-	1.083
Centro-Norte (PI)	Regeneração	1.049	-	1.083
Sudoeste (PI)	Baixa Grande do Ribeiro	840	-	1.083
Extremo Oeste (BA)	Formosa do Rio Preto	817	-	1.083
Vale São Franciscano (BA)	Serra do Ramalho	1.245	-	1.083

R - Rodoviário
F - Ferroviário
H - Hidroviário

Fonte: Autor, com base em Lopes (2017)

As demais rotas para os outros portos, foram as mesmas consideradas nas tabelas 10 e 11. Portanto, somente com a alteração de custos nas rotas para os portos de Pecém, Suape, Salvador e Ilhéus, e a utilização da hidrovía para Barcarena, segue-se as mesmas restrições utilizadas nos três primeiros cenários, tendo em vista comparar os custos entre os mesmos. A Tabela 18, demonstra as restrições, iguais as da tabela 16.

Tabela 18 – Restrições para os cenários 4, 5 e 6

Cenário 4		Cenário 5		Cenário 6	
Portos exportadores	Capacidade (Ton.)	Portos exportadores	Capacidade (Ton.)	Portos exportadores	Capacidade (Ton.)
Itaqui	Sem restrições	Itaqui	4.436.571	Itaqui	2.000.000
Salvador	Sem restrições	Salvador	3.153.225	Salvador	2.000.000
Barcarena	Sem restrições	Barcarena	117.747	Barcarena	2.000.000
Ilhéus	Sem restrições	Ilhéus	89.919	Ilhéus	2.000.000
Santarém	Sem restrições	Santarém	0	Santarém	1.000.000
Santos	Sem restrições	Santos	7.963	Santos	2.000.000
Vitória	Sem restrições	Vitória	4.200	Vitória	2.000.000
Pecém	Sem restrições	Pecém	0	Pecém	1.000.000
Suape	Sem restrições	Suape	0	Suape	1.000.000
Itacoatiara	Sem restrições	Itacoatiara	0	Itacoatiara	1.000.000

Fonte: Autor (2018)

Nos cenários 7 e 8, as projeções para exportação de soja do ano de 2027 serão analisadas. Sendo assim, a produção de soja da região Matopiba tende a crescer 30%, com o aumento em 33% pela demanda de soja dos países importadores (MAPA, 2017). Para este aumento de produção, a tabela a seguir demonstra a previsão da oferta de soja que cada mesorregião passará a oferecer em 2027, junto com a quantidade demandada prevista.

Tabela 19 – Previsão de ofertas e demandas para 2027

Mesorregiões	Oferta (Ton.)	Destinos	Demanda (Ton.)
Oeste Maranhense	92.045		
Centro Maranhense	34.651		
Leste Maranhense	277.216		
Sul Maranhense	1.905.861	Xangai	7.728.953
Ocidental Tocantins	1.742.477		
Oriental Tocantins	1.667.458		
Norte Piauiense	2.150	Hamburgo	1.361.791
Centro-Norte Pi	21.503		
Sudoeste Pi	2.126.631		
Extremo Oeste Ba	5.861.576		
Vale São Franciscano Ba	11.747		

Fonte: Autor, com base em MAPA (2017)

Com a previsão das quantidades a serem ofertadas e demandadas, os cenários 7 e 8 são construídos sem restrições de capacidade, utilizando para o cenário 7 as rotas utilizadas nos cenários 1, 2 e 3. Já no cenário 8, as rotas utilizadas são as mesmas dos cenários 4, 5 e 6, com a hidrovía Araguaia-Tocantins para o porto de Barcarena, e a alocação de custos ferroviários nas rotas rodoviárias para os portos de Pecém, Suape, Salvador e Ilhéus.

Estes dois cenários são elaborados com o objetivo de comparar os custos, para a utilização de rotas diferentes, dentro da capacidade de fornecimento e demanda prevista para 2027, orientando para investimentos de capacidade nos portos de melhor localização e melhoria da infraestrutura de rotas multimodais, como a utilização de hidrovias e ferrovias.

Portanto, a partir da construção dos cenários, o tópico seguinte demonstra os resultados obtidos com o SOLVER, para cada cenário proposto. O programa gera soluções, a partir do modelo construído, visando atender as restrições impostas na atividade, com o menor custo possível. Além disso, é possível fazer uma análise comparativa entre as rotas e os cenários construídos, com seus respectivos custos logísticos.

4.8 Resultados e análise dos cenários

No cenário 1, o custo total de transporte foi de R\$ 1.595.579.061,00 com os portos de Salvador e Itaqui sendo os maiores exportadores da soja produzida no Matopiba. Já os portos de Santos e Vitória não foram escolhidos no resultado do modelo, pois os mesmos são distantes das origens, assim como Itacoatiara e Santarém. O porto do Pecém recebe soja do Norte Piauiense, sendo que este porto não exporta soja na realidade. Portanto, é um ponto a ser avaliado para rotas futuras e investimentos de capacidade. Neste porto, a soja seria exportada para Xangai, via Cabo da Boa Esperança, como demonstra a Tabela 1, a seguir.

Tabela 20 – Cenário 1, quantidade transportada em toneladas

Mesorregiões	Cenário 1				
	Itaqui	Salvador	Barcarena	Ilhéus	Pecém
Oeste Maranhense	-	-	71.081	-	-
Centro Maranhense	26.655	-	-	-	-
Leste Maranhense	213.243	-	-	-	-
Sul Maranhense	1.466.047	-	-	-	-
Ocidental Tocantins	-	-	-	-	-
Oriental Tocantins	1.212.697	-	-	-	-
Norte Piauiense	-	-	-	-	1.564
Centro-Norte Pi	15.638	-	-	-	-
Sudoeste Pi	-	-	-	-	-
Extremo Oeste Ba	-	3.819.678	-	-	-
Vale São Franciscano Ba	-	-	-	8.543	-
Destinos					
Xangai Via Panamá	-	-	-	-	-
Xangai Via Cabo	1.981.459	3.819.678	-	8.543	1.564
Hamburgo	952.822	-	71.081	-	-

Fonte: Autor (2018)

Com base na Tabela 1, 6,9% da soja destinada a Hamburgo é produzida no Oeste Maranhense, escoada pelo porto de Barcarena. O restante da soja destinada a Hamburgo, sai do

porto do Itaqui. Os outros portos exportam somente para a China, como por exemplo Salvador, que recebe toda a soja do Extremo Oeste Baiano, com destino a Xangai, totalizando mais da metade da soja demandada pelo mercado Chinês para a região Matopiba.

No cenário 2, o custo total foi de R\$ 1.601.434.545,00. Para a soja destinada a Xangai e Hamburgo, o modelo não gerou resultados direcionados para os portos de Santos e Vitória. Neste cenário, é possível perceber que Barcarena recebe uma quantidade inferior à qual realmente recebe, e toda a soja que chega neste porto provém da mesorregião Oeste Maranhense, assim como no cenário anterior, com destino final o porto de Hamburgo. Também pode-se destacar que apenas três mesorregiões não transportam a soja para o porto do Itaqui, incluindo o Sudoeste Piauiense, que não exporta soja de acordo com o cenário construído. A Tabela 21, demonstra os resultados obtidos no cenário 2.

Tabela 21 – Cenário 2, quantidade transportada em toneladas

Mesorregiões	Cenário 2			
	Itaqui	Salvador	Barcarena	Ilhéus
Oeste Maranhense	-	-	71.081	-
Centro Maranhense	26.655	-	-	-
Leste Maranhense	213.243	-	-	-
Sul Maranhense	1.466.047	-	-	-
Ocidental Tocantins	666.453	-	-	-
Oriental Tocantins	1.212.697	-	-	-
Norte Piauiense	1.564	-	-	-
Centro-Norte Pi	15.638	-	-	-
Sudoeste Pi	-	-	-	-
Extremo Oeste Ba	-	3.153.225	-	-
Vale São Franciscano Ba	-	-	-	8.543
Destinos				
Xangai Via Panamá	-	-	-	-
Xangai Via Cabo	2.649.475	3.153.225	-	8.543
Hamburgo	952.822	-	71.081	-

Fonte: Autor (2018)

A partir da tabela 21, percebe-se que dentro da capacidade utilizada em 2017, o porto de Salvador utiliza-se de toda a capacidade neste cenário, recebendo a soja do Extremo Oeste Baiano, que é a mesorregião de maior produção. Toda a soja deste porto é escoada para Xangai, através do Cabo da Boa Esperança, representando 54% do total de soja exportado pelo Matopiba para o mercado chinês. Já o porto de Ilhéus recebe pouca quantidade de soja, do Vale São Franciscano, também direcionada para a China, via Cabo.

No cenário 3, o custo total da operação logística foi de R\$ 1.653.463.394,00. Percebe-se que os portos de Salvador e Itaqui exportam em seus limites estabelecidos. Com a restrição

igualitária para os portos, o Sul Maranhense passa a transportar 62,7% da quantidade de soja ofertada pela mesorregião, para Barcarena. Portanto, a soja do Sul Maranhense que antes tinha como único ponto de transbordo o porto de Itaqui, passa a se deslocar também para Barcarena, no cenário 3. Além disso, toda a soja deslocada para Barcarena, tem como destino final o porto de Hamburgo. As restrições também impactam diretamente nas quantidades recebidas pelo porto de Ilhéus, sendo que este passa a exportar quase toda a sua capacidade determinada, como pode-se visualizar na Tabela 22.

Tabela 22 – Cenário 3, quantidade transportada em toneladas

Mesorregiões	Cenário 3				
	Itaqui	Salvador	Barcarena	Ilhéus	Pecém
Oeste Maranhense	-	-	71.081	-	-
Centro Maranhense	26.655	-	-	-	-
Leste Maranhense	213.243	-	-	-	-
Sul Maranhense	547.405	-	918.642	-	-
Ocidental Tocantins	-	-	-	-	-
Oriental Tocantins	1.212.697	-	-	-	-
Norte Piauiense	-	-	-	-	1.564
Centro-Norte Pi	-	-	-	-	15.638
Sudoeste Pi	-	-	-	-	-
Extremo Oeste Ba	-	2.000.000	-	1.819.678	-
Vale São Franciscano Ba	-	-	-	8.543	-
Destinos					
Xangai Via Panamá	-	-	-	-	-
Xangai Via Cabo	1.965.820	2.000.000	-	1.828.221	17.202
Hamburgo	34.180	-	989.723	-	-

Fonte: Autor (2018)

A Tabela 22 também indica que, com a restrição imposta para os portos, Ilhéus passa a receber 47,6% da soja do Extremo Oeste Baiano, a qual nos cenários anteriores era toda transportada para Salvador. O porto do Pecém também passa a receber mais soja, advinda do Piauí. Ambos os portos, do Pecém como Ilhéus, exportam somente para a China, mas a maior quantidade de soja destinada ao mercado chinês sai do porto de Salvador, que recebe 52,4% do total ofertado pelo Extremo Oeste Baiano. Ao final da análise dos três primeiros cenários, o modelo não gerou resultados para exportação da soja ofertada no sudoeste piauiense em nenhum dos três cenários, o que pode ser explicado pela distância desta origem até os portos exportadores, de acordo com as rotas utilizadas.

No cenário 4, o custo total da operação logística foi de R\$ 1.281.880.703,00. Ou seja, esse valor é 19,6% mais barato do que o custo do cenário 1, ressaltando que, os dois cenários apresentam as mesmas restrições, com alteração apenas nas rotas e modais de transporte. O

porto de Barcarena passa a receber mais de 1 milhão de toneladas a mais do que recebia no cenário 1, comprovando que a rota multimodal para este porto ajudaria nos acessos da soja advinda do Tocantins, como pode ser visualizado os números na Tabela 23.

Tabela 23 – Cenário 4, quantidade transportada em toneladas

Mesorregiões	Cenário 4				
	Itaqui	Salvador	Barcarena	Ilhéus	Pecém
Oeste Maranhense	71.081	-	-	-	-
Centro Maranhense	26.655	-	-	-	-
Leste Maranhense	213.243	-	-	-	-
Sul Maranhense	-	-	-	-	-
Ocidental Tocantins	-	-	1.267.256	-	-
Oriental Tocantins	-	968.201	-	-	-
Norte Piauiense	-	-	-	-	1.564
Centro-Norte Pi	-	-	-	-	15.638
Sudoeste Pi	-	-	-	-	-
Extremo Oeste Ba	-	4.262.964	-	-	-
Vale São Franciscano Ba	-	-	-	8.543	-
Destinos					
Xangai Via Panamá	-	-	-	-	-
Xangai Via Cabo	310.980	5.231.165	243.353	8.543	17.202
Hamburgo	-	-	1.023.903	-	-

Fonte: Autor (2018)

Com a utilização da rota multimodal para Barcarena e as alocações de custos ferroviários para Salvador, Pecém, Suape e Ilhéus, o porto do Itaqui passa a receber uma menor quantidade de soja, comparado com o que recebia no cenário 1, onde a mesorregião Sul Maranhense não exporta soja no cenário 4. Além do mais, os reflexos da construção de ferrovias são positivos para Salvador, que recebe a maior quantidade de soja no cenário 4, com o escoamento dos grãos produzidos na mesorregião Oriental do Tocantins e Extremo Oeste Baiano. O porto de Salvador exporta somente para a China, abastecendo 90% da quantidade demandada pelo mercado chinês. Este número comprova que as adaptações de novas rotas multimodais teriam que vir acompanhadas de investimentos de capacidade, principalmente nos portos de Barcarena e Salvador.

No cenário 5, o custo total de transporte foi de R\$ 1.419.650.027,00. Este cenário gerou uma economia de 11,4% do custo obtido no cenário 2. O cenário 5 confirma também o aumento da quantidade de soja escoada pelo porto de Ilhéus, devido a utilização da multimodalidade. A Tabela 24 demonstra as quantidades transportadas, com a aplicação de rotas multimodais na região, levando em consideração as quantidades reais escoadas pela região Matopiba, em 2017.

Tabela 24 – Cenário 5, quantidade transportada em toneladas

Mesorregiões	Cenário 5			
	Itaqui	Salvador	Barcarena	Ilhéus
Oeste Maranhense	71.081	-	-	-
Centro Maranhense	26.655	-	-	-
Leste Maranhense	213.243	-	-	-
Sul Maranhense	1.466.047	-	-	-
Ocidental Tocantins	467.930		117.147	-
Oriental Tocantins	1.212.697	-	-	-
Norte Piauiense	1.564	-	-	-
Centro-Norte Pi	15.638	-	-	-
Sudoeste Pi	-	-	-	-
Extremo Oeste Ba	-	3.153.225	-	81.376
Vale São Franciscano Ba	-	-	-	8.543
Destinos				
Xangai Via Panamá	-	-	-	-
Xangai Via Cabo	2.568.099	3.153.225	-	89.919
Hamburgo	906.756	-	117.147	-

Fonte: Autor (2018)

Assim como no cenário 2, o modelo não gerou resultados para os portos de Santos e Vitória, concluindo que não são viáveis em termos de distâncias, e conseqüentemente de custos. Com a utilização da Araguaia-Tocantins para Barcarena, a soja da mesorregião Ocidental do Tocantins tende a se deslocar para este porto paraense, com destino final o porto de Hamburgo. Além de Barcarena, Itaqui exporta a maior quantidade para o mercado europeu, o equivalente a 88,56% do total demandado. Já o mercado chinês, como nos cenários anteriores, é abastecido principalmente pela soja do Extremo Oeste Baiano, que tem como ponto de transbordo Salvador.

No cenário 6, o custo total foi de R\$ 1.317.431.821,00, gerando uma economia de 20,33% em comparação com o cenário 3. Com as restrições de capacidade, o porto de Barcarena passa a ser mais utilizado, principalmente pela mesorregião Ocidental do Tocantins. Além desta, o porto também recebe a soja do Sul Maranhense. Em relação ao porto do Itaqui, houve uma queda de 84,46% na quantidade recebida por este porto, quando comparado com o cenário 3, comprovando que a infraestrutura de rotas multimodais evitaria o congestionamento de cargas neste porto, além de oferecer opções alternativas de rotas para as origens produtoras. Os números obtidos no cenário 6 estão dispostos na Tabela 25.

Tabela 25 – Cenário 6, quantidade transportada em toneladas

Mesorregiões	Cenário 6				
	Itaqui	Salvador	Barcarena	Ilhéus	Pecém
Oeste Maranhense	71.081	-	-	-	-
Centro Maranhense	26.655	-	-	-	-
Leste Maranhense	213.243	-	-	-	-
Sul Maranhense	-	-	256.910	-	982.798
Ocidental Tocantins	-	-	1.267.256	-	-
Oriental Tocantins	-	-	-	-	-
Norte Piauiense	-	-	-	-	1.564
Centro-Norte Pi	-	-	-	-	15.638
Sudoeste Pi	-	-	-	-	-
Extremo Oeste Ba	-	2.000.000	-	1.991.457	-
Vale São Franciscano Ba	-	-	-	8.543	-
Destinos					
Xangai Via Panamá	-	-	-	-	-
Xangai Via Cabo	310.980	2.000.000	500.263	2.000.000	1.000.000
Hamburgo	-	-	1.023.903	-	-

Fonte: Autor (2018)

Através da Tabela 25 é possível perceber que o porto do Pecém passa a exportar 982.798 toneladas a mais do que exportaria no cenário 3. Sendo assim, a integração logística multimodal na região, juntamente com as restrições impostas, faz com que os portos do Pecém, Ilhéus, Salvador e Barcarena sejam mais utilizados do que o porto do Itaqui. Concluindo, toda a soja destinada a Hamburgo pode ser produzida somente na mesorregião Ocidental do Tocantins, e as demais mesorregiões exportam para a China, sendo Ilhéus e Salvador os principais pontos de transbordo da soja destinada ao porto de Xangai.

Analisando a previsão de exportações para 2027, o cenário 7, gerou um custo total de transporte de R\$ 2.122.318.535,00, com a utilização das mesmas rotas dos cenários 1, 2 e 3. Sendo assim, as distribuições de cargas geradas pelo resultado deste cenário se dão para o porto de Salvador, em sua maioria. Isto acontece devido ao aumento da produção do Extremo Oeste Baiano, onde a soja ofertada se desloca para o porto de Salvador, com destino final a Xangai, via Cabo. A Tabela 26 apresenta os números gerados no cenário 7.

Tabela 26 – Cenário 7, quantidade transportada em toneladas

Mesorregiões	Cenário 7				
	Itaqui	Salvador	Barcarena	Ilhéus	Pecém
Oeste Maranhense	-	-	92.045	-	-
Centro Maranhense	34.651	-	-	-	-
Leste Maranhense	277.216	-	-	-	-
Sul Maranhense	1.905.861	-	-	-	-
Ocidental Tocantins	-	-	-	-	-
Oriental Tocantins	1.667.458	-	-	-	-
Norte Piauiense	-	-	-	-	2.150
Centro-Norte Pi	21.503	-	-	-	-
Sudoeste Pi	-	-	-	-	-
Extremo Oeste Ba	-	5.078.293	-	-	-
Vale São Franciscano Ba	-	-	-	11.747	-
Destinos					
Xangai Via Panamá	-	-	-	-	-
Xangai Via Cabo	2.636.763	5.078.293	-	11.747	2.150
Hamburgo	1.269.926	-	92.045	-	-

Fonte: Autor (2018)

Através da Tabela 26, pode-se perceber que apenas as mesorregiões Ocidental do Tocantins e Sudoeste Piauiense não exportam soja, quando utilizadas as rotas para este cenário. Isto acontece também no cenário 1, com as únicas mesorregiões que não exportam soja. Este cenário induz que os portos do Itaqui e Salvador são os principais pontos de transbordo da soja produzida no Matopiba, levando em consideração a atual infraestrutura de transportes. Porém, vale ressaltar que caso permaneça esta estrutura rodoviária na região, os portos podem sofrer congestionamento de cargas e caminhões, afetando também as estradas da região. Isto levaria a uma série de respostas por parte do governo para implantação de multimodalidade na região e aumento de capacidade nos portos.

Alternando os meios de acesso aos portos, o cenário 8 gerou um custo total da operação de transporte para 2027 de R\$ 1.701.976.645,00, em que o porto mais utilizado pela região é Salvador, com Barcarena assumindo o lugar do porto de Itaqui. Este decaimento da quantidade de carga para Itaqui pode ser relacionado com o cenário 4, que também demonstrou redução da quantidade escoada por este porto, ao utilizar multimodalidade na região. No cenário 8, as únicas mesorregiões que não exportam soja são Sul Maranhense e Sudoeste do Piauí. Já a mesorregião Ocidental do Tocantins passa a explorar a hidrovia Araguaia-Tocantins, rumo a Barcarena. A partir da Tabela 27, é possível perceber o deslocamento da soja rumo à exportação, no cenário 8.

Tabela 27 – Cenário 8 quantidade transportada em toneladas

Mesorregiões	Cenário 8				
	Itaqui	Salvador	Barcarena	Ilhéus	Pecém
Oeste Maranhense	92.045	-	-	-	-
Centro Maranhense	34.651	-	-	-	-
Leste Maranhense	277.216	-	-	-	-
Sul Maranhense	-	-	-	-	-
Ocidental Tocantins	-	-	1.742.477	-	-
Oriental Tocantins	-	1.047.559	-	-	-
Norte Piauiense	-	-	-	-	2.150
Centro-Norte Pi	-	-	-	-	21.503
Sudoeste Pi	-	-	-	-	-
Extremo Oeste Ba	-	5.861.576	-	-	-
Vale São Franciscano Ba	-	-	-	11.747	-
Destinos					
Xangai Via Panamá	-	-	-	-	-
Xangai Via Cabo	403.912	6.909.135	380.506	11.747	23.653
Hamburgo	-	-	1.361.971	-	-

Fonte: Autor (2018)

A partir da tabela 27, pode-se confirmar que a distribuição de cargas do cenário 8 é praticamente igual à do cenário 4, alterando apenas a quantidade transportada, visto que as ofertas e demandas são maiores. Em comparação com o cenário 7, há uma redução de custos de 19,8%, devido a melhor infraestrutura e distribuição dos modais na região, com maior quantidade de carga para os portos de Barcarena, Salvador e Pecém. Toda a soja destinada a Hamburgo é transbordada em Barcarena, e o restante dos portos servem como transbordo para a soja destinada a Xangai. Sendo assim, a mesorregião Ocidental do Tocantins produziria toda a soja demandada pela união europeia, e o restante das mesorregiões apenas para a China.

A partir da alteração de rotas, foi possível verificar que a utilização de mais de um modal pode beneficiar o transporte da soja do Matopiba rumo aos portos do Norte e Nordeste brasileiro, o que também é confirmado no trabalho de Amaral, Almeida e Morabito (2012), sobre a utilização de terminais integradores para transporte do grão. A análise comparativa entre os cenários propostos destaca que, com a atual configuração de rotas, os custos são maiores do que os previstos com a instalação de ferrovias e hidrovias, que auxiliariam no escoamento do grão.

5 CONCLUSÕES

Tendo como objetivo a proposição de um modelo matemático que pudesse reduzir custos de transporte da soja rumo à exportação, o estudo alcançou os objetivos propostos, baseando-se na estruturação do modelo de transbordo para a logística de exportação da soja produzida no Matopiba. Delimitando as origens, os pontos de transbordo e os destinos finais da soja, foi possível estruturar as rotas e, conseqüentemente, os seus custos de transporte através do SOLVER, gerando um melhor roteiro de transportes, de acordo com as restrições de cada cenário construído, sempre visando o menor custo possível. Portanto, as análises de rotas atuais e futuras foram construídas a partir de 8 cenários, os quais demonstram a distribuição da soja, de acordo com as características do sistema.

Pode-se destacar que, com o aumento da demanda de soja para o futuro, reduzir custos de transporte é o que o governo brasileiro prevê, a partir dos projetos de construção e integração do interior para o litoral, o que pode ser observado neste estudo, em que os modelos podem servir de parâmetro para vetores de investimento, em cada caso, destacando as quantidades que seriam transportadas e a infraestrutura necessária para o setor logístico.

Os vetores de integração para o transporte da soja que podem ser descritos nos resultados deste trabalho, com base nos cenários que utilizam rotas potenciais são: a utilização da hidrovia Araguaia-Tocantins para o transporte da soja rumo ao porto de Barcarena, e a integração ferroviária do Nordeste, facilitando o acesso aos portos desta região. Porém, os cenários construídos com base na atual configuração logística existente, indicam uma elevada quantidade de carga nos portos do Itaqui e Salvador, que são os principais responsáveis pelo escoamento da soja rumo à exportação. Além do mais, apesar de que, na realidade, parte da soja produzida no Matopiba seja transportada para os portos do Sudeste, os cenários indicam que para o mercado chinês e europeu, a soja deve ser escoada somente pelos portos do Norte e Nordeste, de acordo com a capacidade atribuída para cada um.

Os cenários também indicam que os portos de Itacoatiara e Santarém não são necessários para o transporte da soja produzida na região. Apesar de que estes dois portos estejam próximos do Canal do Panamá, as taxas para a utilização do canal são elevadas, o que dificulta a escolha desta rota por parte do modelo, tendo como base os custos proporcionais atribuídos neste trabalho. Sendo assim, é mais viável que toda a soja produzida no Matopiba seja transportada via Cabo da Boa Esperança para o porto de Xangai.

Além dos portos já utilizados para exportação da soja, o modelo proposto gera resultados para o porto do Pecém, destacando a viabilidade de utilização deste porto. Mesmo com a atual estrutura rodoviária, o porto é escolhido para o escoamento da soja. Com a utilização de uma malha ferroviária, o acesso a este porto se torna mais fácil, ocasionando o aumento da quantidade de soja recebida, quando o porto não é restringido nos cenários. Sendo assim, este porto pode receber a soja que seria transportada para Itaqui, assim como o porto de Barcarena, com a utilização da multimodalidade. Os resultados para utilização da hidrovia proporcionam uma maior quantidade de carga escoada para Barcarena, principalmente quando os cenários são realizados sem restrições de cargas, comprovando que o porto pode servir como um importante ponto de transbordo da soja advinda do Matopiba. Já o porto de Suape, apesar de se localizar no Nordeste, não apresentou resultados de direcionamento de cargas em nenhum dos cenários, mesmo se utilizando de estrutura ferroviária para este porto.

Apesar deste trabalho demonstrar números condizentes com a realidade atual das exportações, torna-se limitado devido ao comércio dos grãos no Brasil serem diversificados por contratos de produtores com *tradings*, entre outras empresas envolvidas, podendo ter a posse do grão e vender ou compartilhar com outros interessados, localizados em outras regiões do Brasil. Sendo assim, os destinos da soja do Matopiba tendem a mudar, sendo comprovado pelos números atuais, onde pode-se notar que a soja produzida na região Matopiba acaba sendo exportada pelos portos dos estados de Roraima, Paraná e Rio Grande do Sul, citados no segundo capítulo deste trabalho.

Além do mais, o modelo se torna limitado por tomar como origens apenas as cidades de maior índice de produção, destacando que há cidades que podem não ser grandes produtoras do grão, mas servem como pontos estratégicos, devido sua localização em determinada região. Outro fator que pode ser modificado é a real dispersão das malhas ferroviárias, que podem alterar determinadas distâncias e criar terminais intermodais para alocação de cargas, pois estes ainda podem sofrer alterações ao longo da construção.

Sendo assim, em busca de um padrão mais próximo possível da realidade, seria importante detalhar cada mesorregião analisada neste trabalho, a fim de se propor modelos em microrregiões, destacando não só as cidades com maiores índices de produção, como também os seus pontos estratégicos para escoamento da soja rumo à exportação. Como propostas para trabalhos futuros a partir desta pesquisa, pode ser elaborado um estudo para localização de terminais intermodais de cargas, baseando-se no método de centro de gravidade, analisando a concentração de produção de uma região.

Outro método viável para continuidade deste estudo é através de simulação a eventos discretos, analisando a logística de exportação do grão, em que pudessem ser feitas análises com destaque não somente para o transporte, mas também para os processos de armazenagem. Além do mais, um estudo de simulação detalhado abordando uma determinada microrregião, proporcionaria maiores detalhes de custos de transporte e de alocação de cargas, tanto em terminais multimodais ou intermodais, como também no descarregamento de cargas nos portos brasileiros, contando com os gastos com espera dos navios graneleiros nos portos brasileiros.

Portanto, este estudo serve de auxílio para orientação de investimentos, tanto em infraestrutura de rotas que interliguem origens produtoras aos portos exportadores, como também na capacidade destes portos, para que se possa minimizar os custos, prevendo os aumentos de demanda da soja. Mesmo não se utilizando das rotas potenciais, o modelo pode distribuir a soja de forma que o escoamento aconteça somente pelos portos do Arco Norte, evitando a utilização dos portos do sudeste e sul, os quais são os mais utilizados para exportação de soja. Sendo assim, trabalhando com capacidade atual destes portos e infraestrutura precária de transportes, pode-se minimizar os custos, como foi comprovado neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALICEWEB. Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior. **Consulta Exportação**. Disponível em: <<http://aliceweb.mdic.gov.br>>. Várias consultas. 2018.
- ALMEIDA, C. A. et al. Modelagem matemática e simulação para otimizar o escoamento da soja brasileira exportada a China. **RACE**, Unoesc, v. 12, n. 1, p. 199-225, 2013.
- AMARAL, M.; ALMEIDA, M. S.; MORABITO, R. Um modelo de fluxos e localização de terminais intermodais para escoamento da soja brasileira destinada à exportação. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 19, n.2, p. 717-732, 2012.
- ANDRADE, E. L. **Introdução a Pesquisa Operacional: métodos e modelos para a análise de decisão**. 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- ANEC. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS EXPORTADORES DE CEREAIS. **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.anec.com.br/estatisticas.html>>. Acesso em: 4 maio. 2018.
- ARENALES, M. et al. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- ASSIS, T. F. et al. Análise de alternativas de rota de soja do estado do Mato Grosso para a exportação sob o enfoque econômico e ambiental. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET, 2014, Curitiba. **Anais...**Curitiba: Anpet, 2014.
- BAHIA, P. Q.; BOTELHO, M. A.; RIOS, D. P. Análise logística de redes de transporte de grãos de soja para exportação por portos brasileiros a partir do estado do Mato Grosso. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2008, Resende. **Anais...**Resende: AEDB, 2008.
- BALLOU, R. H. **Logística Empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. São Paulo: Atlas, 2010.
- BARBOSA, E. L.; MONTEIRO, M. S. L.; SILVA, A. J. Nova dinâmica produtiva e velhas questões territoriais nos cerrados setentrionais do Brasil. **Revista Espacios**, Caracas, v. 36, n. 21, p. 14-21, 2015.
- BELCHIOR, E. B.; ALCÂNTARA, P. H. R.; BARBOSA, C. F. Perspectivas e desafios para a região do Matopiba. Embrapa, 2017. 3f. **Informativo técnico do Núcleo de Sistemas Agrícolas da Embrapa Pesca e Aquicultura**. 2017.
- BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BOLFE, E. L. et al. MATOPIBA: análise do uso da terra e a produção agrícola. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2017, Santos. **Anais...Santos: INPE**, 2017.

BOLFE, E. L. et al. Matopiba em crescimento agrícola: Aspectos territoriais e socioeconômicos. **Revista de Política Agrícola**, Ano XXV, n. 4, p. 38-62, 2016.

BONFIM, Y. P.; FERREIRA, V. R. S.; CAETANO, M. A logística e o agronegócio em Goiás: o caso da soja. **REGE**, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 557-573, 2013.

BORGES, G. R.; ARAUJO, F. de.; SOLON, A. S. Desperdício de soja nas estradas: análise de perdas de soja nas regiões Sudeste e Centro-Oeste. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2013, Salvador. **Anais...Salvador: Abepro**, 2013.

BORGHI, E. et al. **Desafios das novas fronteiras agrícolas de produção de milho e sorgo no Brasil: desafios da região do MATOPIBA**. In: KARAM, D.; MAGALHÃES, P. C. (Ed.). **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014.

BRANCO, J.E.H.; CAIXETA FILHO, J.V. Estimativa da demanda de carga captável pela estrada de ferro Norte-Sul. **Journal of Transport Literature**, v. 5, n. 4, p. 17-50, 2011.

BRUGNERA, J. C; DALCHIAVON, F. C. Modal ferroviário e transporte de soja no MATOPIBA. **Revista iPecege**, Piracicaba, v. 3, n. 4, p. 48-56, 2017.

CANAL RURAL. **Com queda do dólar, produtor de soja se retrai e preço cai no Brasil. 2016**. Disponível em: <<http://www.canalrural.com.br/noticias/soja/com-queda-dolar-produtor-soja-retrai-preco-cai-brasil-62715>> Acesso em: 26 fev. 2018.

CHROCHANE LIBRARY. **Cochrane Database of Systematic Reviews**. Disponível em: <<http://www.cochranelibrary.com/cochrane-database-of-systematic-reviews/2014>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora dos Autores, 2010.

CNT. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Entraves logísticos ao escoamento de soja e milho**. Brasília: CNT, p. 1-155, 2015.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Estimativa do escoamento das exportações do complexo soja e milho pelos portos nacionais**. Compêndio de Estudos Conab. Brasília, v. 6, safra 2016/17, p. 1-24, 2017.b

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para a agropecuária**. Brasília, v. 5, safra 2017/18, p. 1-111, 2017.a

CORREA, V. H. C.; RAMOS, P. A. Precariedade do Transporte Rodoviário Brasileiro para o escoamento da Produção de Soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas. **RESR**, Piracicaba, v. 48, n. 2, p. 447-472, 2010.

CRUZ, B. C. B.; PIZZOLATO, N. D.; CRUZ, A. B. An application of the spatial equilibrium model to soybean production in Tocantins and neighboring states in Brazil. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 2, p. 443-464, 2010.

CUNHA, R. C. C.; ESPÍNDOLA, C. J. Dinâmica econômica da cadeia produtiva da soja no sul do Maranhão. **Boletim Gaúcho de Geografia**, Porto Alegre, v. 43, n. 2, p. 187-207, 2016.

DENYER, D., TRANFIELD, D. **Producing a systematic review**. In: BUCHANAN, D.; BRYMAN, A. (Eds.). *The Sage Handbook of Organizational Research Methods*, Sage Publications, Thousand Oaks, pp. 671–689. 2009.

DESTRI, J. H. et al. Supply Chain da soja, seus custos envolvidos e tomada de decisão de quando vender. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2017, Joinville. **Anais...Joinville**: Abepro, 2017.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2015. **MATOPIBA**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/gite/projetos/matopiba/150319_MATOPIBA_SENADO_website.pdf>. Acesso em: 8 março. 2018.

FILASSI, M. **Impacto da intermodalidade na exportação da soja brasileira: novas rotas de escoamento**. 2016. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Gestão do Agronegócio) – Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, Limeira.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização combinatória e programação linear**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

GOOGLE MAPS. **Pesquisa**. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps> >. Várias consultas. 2018.

HASEGAWA, H. L. **Metodologia do Trabalho Científico**. In: VENANZI, D.; DA SILVA, O. R. (Org.). **Introdução à Engenharia de Produção: conceitos e casos práticos**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2010.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina: **Embrapa Soja**. 2014. 70 p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão Regional do Brasil**. 2017. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/default_div_int.shtm> . Acesso em: 12 março. 2018.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>>. Várias consultas. 2018.

IMEA. INSTITUTO MATO-GROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Entendendo o mercado da soja**. Cuiabá: IMEA; APROSOJA, 2015. Workshop Jornalismo Agropecuário. 2015.

KUSSANO, M. R.; BATALHA, M. O. Custos logísticos agroindustriais: avaliação do escoamento da soja em grão do Mato Grosso para o mercado externo. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 19, n. 3, p. 619-632, 2012.

LAW, A. **Simulation Modeling and Analysis**. 5. Ed. Estados Unidos da América: McGraw Hill, 2014.

LIMA, N. R. S.; REIS, J. G. M. Produção de soja no Piauí: identificação, mapeamento e características. In: International Conference on Engineering and Technology Education, 2016, Salvador. **Anais...**Salvador: COPEC, 2016.

LIN, Y.; LIU, S. Solving problems with incomplete information: a grey systems approach. **Advances in Imaging and Electron Physics**, Elsevier, Oxford, v. 141, p. 77-174, 2006.

LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa Operacional: fundamentos e modelos**. São Paulo: Saraiva, 2009.

LOPES, H. S. et al. Análise da influência do canal do Panamá na logística de escoamento da soja brasileira. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET, 2017, Recife. **Anais...**Recife: Anpet, 2017.

LOPES, H. S. **Análise do escoamento da soja brasileira através da simulação a eventos discretos**. 2017. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

LOPES, H. S.; FERREIRA, R. C.; LIMA, R. S. Logística da soja brasileira para exportação: modelo de otimização orientado para a minimização de custos logísticos. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET, 2015, Recife. **Anais...**Recife: Anpet, 2015.

LOPES, H. S.; LIMA, R. S. Alternatives for the soybean exportation in Brazil: An analysis of transport via the Tocantins-Araguaia waterway. **Custos e agronegócio online**, Recife, v.13, n.1, p.239-261, 2017.

LOUREIRO, S. A. et al. O uso do método de revisão sistemática da literatura na pesquisa em logística, transportes e cadeia de suprimentos. **Revista Transportes**. v. 24, n.1, p. 95-106, 2016.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Projeções do agronegócio. Brasil 2015/16 a 2025/26 Projeções de Longo Prazo**. Secretaria de Política Agrícola. Brasília-DF. Julho de 2016.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Projeções do agronegócio. Brasil 2016/17 a 2026/27 Projeções de Longo Prazo**. Secretaria de Política Agrícola. Brasília-DF. Agosto de 2017.

MARCONI, M. DE A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas 2002.

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

MATOS, P. F.; PESSÔA, V. L. S. A modernização da agricultura no Brasil e os novos usos do território. **Geo UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 22, p. 290-322, 2011.

MEDEIROS P. O.; NAAS, I. A. Cadeia produtiva da soja no Piauí: uma análise de perdas de grãos em função de distâncias percorridas. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 10, n. 4, p. 368-374, 2016.

MILANEZ, A. P. et al. Modelo de design de rede de hubs aplicado a cadeia de exportação da soja brasileira. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2014, Bauru. **Anais...Bauru**: Unesp, 2014.

MORAES FILHO, J. P. de. Soja. Prospecção para safra 2007/2008 da Conab. Brasília, 2007. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/cas/especiais/prospeccao200708soja.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

NAVARRO, D. O Canal do Panamá: política e estratégia. **Universitas: Relações Internacionais**, [s.l.], v. 13, n. 2, p.99-106, 17 dez. 2015.

NEHMI, V. Por que commodities são cíclicas. Vérios (Blog) 2012. Disponível em: <<https://verios.com.br/blog/por-que-commodities-sao-ciclicas/>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

OJIMA, A. L. R. O. Análise da movimentação logística e competitividade da soja brasileira: uma aplicação de um modelo de equilíbrio espacial de programação quadrática. 2004. 79 f. Dissertação (Mestrado Automação) - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

OJIMA, A. L. R. O.; YAMAKAMI, A. Modelo de programação quadrática para análise da movimentação logística e comercialização da soja brasileira. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 552-560, 2006.

PARREIRA, F. F.; VERZELONI, S. L.; REIS, S. A. Um modelo de otimização para a comercialização da safra de soja. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2014, Curitiba. **Anais...Curitiba**: Abepro, 2014.

PORTO, M. C. et al. Diagnóstico logístico das rotas de escoamento de grãos agrícolas para exportação - estudo de caso para o complexo de soja e milho. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2017, Joinville. **Anais...Joinville**: Abepro, 2017.

RODRIGUES, M. G. V. **Metodologia da pesquisa: elaboração de projetos, trabalhos acadêmicos e dissertações em ciências militares**. 3. ed. Rio de Janeiro: ESAO, 2005.

SALIN, D. Brazil Soybean Transportation Indicator Reports. February 2013. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service (USDA). Disponível em:
<<http://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/BrazilSoybeanTransportationReportFeb2013.pdf>>. Várias consultas.

SALIN, D. Brazil Soybean Transportation Indicator Reports. February 2018. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.9752/TS052.02-2018> >. Várias consultas.

SALIN, D. Brazil Soybean Transportation Indicator Reports. January 2015. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service (USDA). Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.9752/TS052.01-2015>>. Acesso em: 11 março. 2018.

SALIN, D. Brazil Soybean Transportation Indicator Reports. March 2017. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service (USDA). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.9752/TS052.03-2017>>. Várias consultas.

SALIN, D. Soybean Transportation Guide: Brazil. June 2016. U.S. Dept. of Agriculture, Agricultural Marketing Service (USDA). Disponível em <<http://dx.doi.org/10.9752/TS048.06-2016>>. Acesso em: 21 fev. 2018.

SANTOS, E. L. O. et al. A presença de cooperativas na área de produção de grãos: um estudo da participação nordestina do Matopiba. **Teoria e Evidência Econômica**, n. 39, p. 236-245, 2012.

SANTOS, F.C. Canais de acesso aos portos brasileiros: demandas de infraestrutura pela evolução dos navios tipo. **Pluralidade**. Jan. 2014.

SEA DISTANCE. **Consulta**. Disponível em: <<https://sea-distances.org/>>. Acesso em: 2 março. 2018.

SIDRA. SISTEMA DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de tabelas e estatísticas**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pnadcm>>. Várias consultas. 2018.

SIFRECA. **Mercado de Fretes**. Disponível em: <<http://sifreca.esalq.usp.br/>>. Acesso em: 8 maio. 2018.

SILVA, R. N. O.; MENEGHELLO, G. E. O cultivo da soja na região Matopiba: grandeza, desafios e oportunidades para a produção de grãos e sementes. **Revista SEEDnews**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p. 50-54, 2016.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Toward a methodology for developing evidence informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management**, n. 14, p. 207-222, 2003.

