



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL

**OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE ESCOAMENTO DA SOJA DO MATO GROSSO
ATRAVÉS DO ARCO NORTE**

MATHEUS MELO DE SOUZA

Belém - PA
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL

**OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE ESCOAMENTO DA SOJA DO MATO GROSSO
ATRAVÉS DO ARCO NORTE**

MATHEUS MELO DE SOUZA

Dissertação de Mestrado Submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal do Pará como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Naval.

Área de Concentração: Transporte Aquaviário

Orientador: Prof. Dr. Marcus Pinto da Costa da Rocha

Belém – PA
2021

MATHEUS MELO DE SOUZA

**OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE ESCOAMENTO DA SOJA DO MATO
GROSSO ATRAVÉS DO ARCO NORTE**

Dissertação de Mestrado Submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal do Pará como requisito final para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Naval.

APROVADO EM: 26/05/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcus Pinto da Costa da Rocha
(Orientador – PPGENAV/ICEN/UFPA)

Prof. Dr. Hito Braga de Moraes
(Membro Interno – PPGENAV/ITEC/UFPA)

Prof. Dr. Miércio Cardoso de Alcântara Neto
(Membro Interno – PPGENAV/ITEC/UFPA)

Prof. Dr. Marcus Vinícius Guerra Seraphico de Assis Carvalho
(Membro Externo – FEC/ITEC/UFPA)

Visto:

Prof. Dr. Nélio Moura de Figueiredo
(Coordenador do PPGENAV/ITEC/UFPA)

Belém – PA
2021

S719o Souza, Matheus Melo de.
Otimização de rotas de escoamento da soja do Mato Grosso através do Arco Norte / Matheus Melo de Souza. — 2021.
120 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcus Pinto da Costa da Rocha
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval, Belém, 2021.

1. Otimização. 2. Programação Linear. 3. Análise custo efetividade. 4. Soja. 5. Logística. I. Título.

CDD 386

Dedico esse trabalho aos meus pais Messias e Edna, meus avós Edgar e Ana e a minha avó Celina (in memoriam), com todo meu amor e gratidão, por tudo que fizeram por mim ao longo de minha vida. Espero ser merecedor de todo o esforço e dedicação de vocês por mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar e permitir que eu pudesse chegar à conclusão desta etapa em minha vida! À toda minha família, em especial à minha mãe Edna, meu pai Messias, minhas avós Ana e Celina (in memoriam), meu avô Edgar que sempre confiaram em mim e me deram todo apoio, estrutura e amor. Às minha tias Olindina, Olívia e Odete, que nunca deixaram de rezar por mim e pedir que Deus me guiasse no caminho do bem e dos estudos, obrigado por tudo.

Ao meu orientador, professor Marcus Pinto da Costa da Rocha, agradeço seu auxílio, paciência e orientação e principalmente por me mostrar o que é ser forte em meio às adversidades da vida. À todos os pertencentes à Pós-graduação em Engenharia Naval que compartilharam comigo um pouco do seu vasto conhecimento e experiência, não apenas profissional, mas também pessoal, em especial Marcus Seraphico, Hito Braga, Miércio Alcântara e Nayrama Simões.

Aos meus amigos e irmãos que estiveram presentes sempre que precisei ao longo de minha vida, com os quais compartilhei sorrisos, momentos e experiências. Em especial Marianna Amado, Rafael Almeida, Carolina Ramos, Heitor Melo, Yago Sousa, Murilo Menezes, Rafael Gouveia, Júlio Marques, Renan Magalhães, Amanda Larêdo, Caroline Lima, Camila Capela e Letícia Navarro.

Aos meus primos, Eduardo Aguiar e Raphael Melo, que são verdadeiros irmãos, expresso a minha gratidão pela paciência em momentos difíceis, ajuda e apoio emocional e principalmente motivação a fim de que eu terminasse este trabalho de maneira tranquila, mesmo em meio a uma pandemia.

Ao amigo Josias Cruz, do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LAESA), agradeço pelos momentos dedicados a me auxiliar no software arcGIS, aos professores do Instituto de Ciências Exatas e Naturais (ICEN), Valcir Farias e Heliton Tavares, agradeço por toda a boa vontade e disponibilidade de atendimento e compreensão durante às reuniões remotas.

A todos que não foram citados, mas que também contribuíram direta e indiretamente para com que eu me tornasse Mestre em Engenharia Naval, o meu mais sincero agradecimento.

“Ver o mundo, as coisas perigosas por vir, ver por trás dos muros, se aproximar, encontrar o outro e sentir. Esse é o propósito da vida.”

- Walter Mitty

RESUMO

Atualmente a região conhecida como Arco Norte ganha importância como uma possível saída logística para o escoamento de soja do estado do Mato Grosso. Modelos de otimização de custo de transporte baseados em Programação Linear (PL) e análises de investimentos como a análise de custo efetividade (ACE) podem ser ferramentas de análise dos benefícios trazidos por novos projetos de transporte. Assim, o objetivo deste estudo foi a otimização das rotas de do transporte da soja mato-grossense, considerando variáveis econômicas, ambientais e retornos à sociedade. Foram selecionados três anos (2018, 2025 e 2030), divididos em 7 cenários cada, levando em consideração a manutenção da capacidade portuária do Arco Norte e a implantação da Ferrogrão e Hidrovia Araguaia Tocantins. Os resultados do modelo de transporte confirmaram a potencial redução do custo de escoamento da soja do Mato Grosso, variando de R\$ 900 milhões a R\$ 3,7 bilhões e estabeleceram 2030 como o melhor ano de operação. Além disso, a intermodalidade reduziu significativamente a participação do modal rodoviário no sistema logístico e a movimentação portuária foi reduzida de 9 para 5 portos. Já o método ACE estabeleceu prioridades na implantação de tais projetos utilizando pesos baseados em variáveis econômicas (custo de transporte e eficiência energética) e socioambientais (emissão de CO₂ e número de caminhões) e seus respectivos benefícios e então definiu o ano de 2030 como o mais vantajoso para a implantação dos empreendimentos, porém, com uma discreta vantagem da Hidrovia Araguaia Tocantins frente à Ferrogrão. A ACE concluiu ainda que embora o maior benefício dos projetos esteja aliado à ampliação em 100% da capacidade portuária do Arco Norte, um aumento de 50% ainda torna os empreendimentos viáveis.

Palavras-chave: Otimização, Programação Linear, Análise custo efetividade, Soja, Logística.

ABSTRACT

Currently, the region known as Arco Norte is gaining importance as a possible logistical outlet for the outflow of soybeans from the state of Mato Grosso. Transport cost optimization models based on Linear Programming (PL) and investment analysis such as cost-effectiveness analysis (ACE) can be tools for analyzing the benefits brought by new transport projects. Thus, the aim of this study was to optimize the transportation routes for soybeans from Mato Grosso, considering economic and environmental variables and returns to society. Three years (2018, 2025 and 2030) were selected, divided into 7 scenarios each, considering the maintenance of the port capacity of Arco Norte and the implementation of Ferrogrão and Hidrovia Araguaia Tocantins. The results of the transport model confirmed the potential reduction in the cost of transporting soybeans from Mato Grosso, ranging from R\$ 900 million to R\$ 3.7 billion, and established 2030 as the best year of operation. In addition, intermodality significantly reduced the participation of road modal in the logistics system and port handling was reduced from 9 to 5 ports. The ACE method, on the other hand, established priorities in the implementation of such projects using weights based on economic (transport cost and energy efficiency) and socio-environmental (CO2 emissions and number of trucks) and their respective benefits and then defined the year 2030 as the most advantageous for the implementation of the projects, however, with a discreet advantage of Hidrovia Araguaia Tocantins in relation to Ferrogrão. ACE also concluded that although the greatest benefit of the projects is linked to the expansion of 100% of the port capacity of Arco Norte, a 50% increase still makes the projects viable.

Keywords: Optimization, Linear Programming, Cost-effectiveness analysis, Soybean, Logistics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção, consumo e exportação de soja (mil t).....	23
Figura 2 – Produção agrícola – soja (safra 2018/2019).....	24
Figura 3 – Logística da distribuição de grãos e derivados no Brasil	25
Figura 4 – O Arco Norte.....	29
Figura 5 – Participação de cada estado na movimentação de soja pelo Arco Norte	30
Figura 6 – A EF-170, conhecida como Ferrogrão.....	31
Figura 7 – A Hidrovia Araguaia Tocantins	32
Figura 8 – Projeção da demanda x capacidade de granéis sólidos vegetais..	34
Figura 9 – Demanda em 2018 e projetada em 2060 de exportação de grãos vegetais dos clusters do Arco Norte	35
Figura 10 – Capacidade atual e projetada dos Clusters do Arco Norte	36
Figura 11 – Problema de transporte	40
Figura 12 – Problema de transbordo	42
Figura 13 - Despesas com infraestrutura por percentual do PIB (2000-2013)	46
Figura 14 – Localização dos centroides produtores no Mato Grosso	52
Figura 15 – Classificação das rotas rodoviárias – a) Pavimentação, b) Sinalização e c) Geometria da via.....	53
Figura 16 – Classificação das rodovias do estado do Mato Grosso	54
Figura 17 – Classificação das rodovias do estado do Mato Grosso – a) Pavimentação, b) Sinalização e c) Geometria da via	55
Figura 18 - Rotas atuais de escoamento da soja.....	58
Figura 19 – Inserção da Ferrogrão e Hidrovia Araguaia Tocantins	59
Figura 20 – Esquema metodológico do trabalho	60
Figura 21 – Rotas intermodais do corredor Sudeste/Sul	65
Figura 22 – Rotas intermodais do corredor Arco Norte.....	66
Figura 23 – Comparação entre os fretes rodoviários	70
Figura 24 – Comparação entre os fretes ferroviários.....	71
Figura 25 – Comparação entre os fretes hidroviários	72
Figura 26 – Classificação dos centroides quanto ao melhor destino	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa da produção e exportação mundial de soja para a safra 21/22	21
Tabela 2 – Produção agrícola municipal do Mato Grosso 2018/2030 – IBGE/MAPA.....	51
Tabela 3 – Classificação das rotas rodoviárias do estado do Mato Grosso....	54
Tabela 4 – Classificação das rotas ferroviárias	55
Tabela 5 – Classificação das rotas hidroviárias.....	56
Tabela 6 - Análise de cenários proposta.....	57
Tabela 7 – Projeções macroeconômicas 2019-2030	61
Tabela 8 – Fretes por corredor logístico rodoviário	61
Tabela 9 – Frete intermodal.....	67
Tabela 10 – Total exportado e taxa portuária - 2018	68
Tabela 11 – Custos de adequação da Hidrovia Araguaia-Tocantins.....	76
Tabela 12 – Custos de implantação da Ferrogrão.....	77
Tabela 13 – Eficiência energética entre aos modais de transporte de carga..	79
Tabela 14 – Fatores de emissão de CO ₂ por modal de transporte	79
Tabela 15 – Base de dados a ser utilizada na ACE.....	80
Tabela 16 – Indicadores de cada cenário	81
Tabela 17 – Peso dos indicadores.....	81
Tabela 18 – Economia proposta por cenário	83
Tabela 19 – Custo médio por operação logística (R\$/t).....	84
Tabela 20 – Rotas de destino por corredor.....	84
Tabela 21 – Rotas de destino por centroides	85
Tabela 22 – Intermodalidade nos cenários 2018.1, 2025.1 e 2030.1	87
Tabela 23 – Participação na exportação – 2018.1, 2025.1 e 2030.1.....	87
Tabela 24 - Intermodalidade dos cenários 2018.2, 2025.2 e 2030.2	88
Tabela 25 – Participação na exportação – 2018.2, 2025.2 e 2030.2.....	88
Tabela 26 - Intermodalidade dos cenários 2018.3, 2025.3 e 2030.3	89
Tabela 27 – Participação na exportação – 2018.3, 2025.3 e 2030.3.....	89
Tabela 28 - Intermodalidade dos cenários 2018.4, 2025.4 e 2030.4	90
Tabela 29 – Participação na exportação – 2018.4, 2025.4 e 2030.4.....	91
Tabela 30 - Intermodalidade dos cenários 2018.5, 2025.5 e 2030.5.....	91

Tabela 31 – Participação na exportação – 2018.5, 2025.5 e 2030.5.....	92
Tabela 32 - Intermodalidade dos cenários 2018.6, 2025.6 e 2030.6	92
Tabela 33 – Participação na exportação – 2018.6, 2025.6 e 2030.6.....	93
Tabela 34 - Intermodalidade dos cenários 2018.7, 2025.7 e 2030.7	93
Tabela 35 – Participação na exportação – 2018.7, 2025.7 e 2030.7.....	94
Tabela 36 – Participação na exportação – Todos os cenários	95
Tabela 37 – Ordem de prioridade de implantação dos projetos	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACB	Análise Custo-Benefício
ACE	Análise Custo Efetividade
AGER	Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados de Mato Grosso
AMC	Análise Multicritério
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
ANTF	Agência Nacional dos Transportadores Ferroviários
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
BB	Banco do Brasil
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CEF	Caixa Econômica Federal
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CLM	Council of Logistics Management
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DEAGRO	Departamento de Agronegócio da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EFC	Estrada de Ferro Carajás
EFVM	Estrada de Ferro Vitória Minas
ELP	Estação da Luz Participações
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Environmental Protection Agency
EPL	Empresa de Planejamento e Logística
ETC	Estação de Transbordo de Cargas
EVTEA	Estudo de Viabilidade Técnica Econômica e Ambiental
FCA	Ferrovia Centro Atlântica

FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FNS - TN	Ferrovia Norte-Sul Trecho Norte
GAMS	General Algebraic Modelling System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMEA	Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária
IP4	Instalações Portuárias Públicas de Pequeno Porte
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor Amplo
ITC	Porto de Itacoatiara
ITQ	Porto de Itaquí
LABTRANS	Laboratório de Transportes e Logística
MAPA	Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MATOPIBA	Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio
MINFRA	Ministério de Infraestrutura
MPL	Movimento Pró Logística
MRS	MRS Logística
MT	Ministério dos Transportes
MTPA	Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil
PAR	Porto de Paranaguá
PIB	Produto Interno Bruto
PL	Programação Linear
PNIH	Plano Nacional de Integração Hidroviária
PNL	Plano Nacional de Logística
PNLI	Plano Nacional de Logística Integrada
PNLP	Plano Nacional de Logística Portuária
PPI	Programa de Parcerias de Investimentos
RAF	Relatório de Acompanhamento Fiscal
RGR	Porto de Rio Grande
RUMO - MN	Rumo Logística Malha Norte

RUMO – MS	Rumo Logística Malha Sul
SAN	Porto de Santos
SFS	Porto de São Francisco do Sul
SIFRECA	Sistema de Informações de Fretes
SNV	Sistema Nacional de Viação
STR	Porto de Santarém
TKU	Tonelada Quilômetro Útil
TU	Tonelada Útil
TUP	Terminal de Uso Privativo
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
VDC	Porto de Vila do Conde
VIT	Porto de Vitória

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Hipótese.....	19
1.2	OBJETIVOS.....	19
1.2.1	Geral.....	19
1.2.2	Específicos.....	19
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1	O AGRONEGÓCIO E A INFRAESTRUTURA DO TRANSPORTE DE CARGA .	21
2.1.1	A logística de escoamento da soja	24
2.2	O ARCO NORTE	27
2.2.1	Ferrogrão.....	30
2.2.2	Hidrovia Araguaia-Tocantins	32
2.2.3	Demanda e capacidade do Arco Norte	33
2.3	PROGRAMAÇÃO LINEAR E ALGORITMO SIMPLEX	37
2.3.1	Problema de transporte.....	39
2.3.2	Problema do transbordo	41
2.4	INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES E CRESCIMENTO ECONÔMICO ...	43
2.4.1	Investimentos em obras de infraestrutura no Brasil	45
2.4.2	Análise de custo efetividade (ACE).....	48
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	51
3.1	O ESTADO DO MATO GROSSO	51
3.2	ROTAS DE ESCOAMENTO	52
3.2.1	Rotas rodoviárias	52
3.2.2	Rotas intermodais.....	55
3.3	ANÁLISE DOS CENÁRIOS	56
4	MATERIAL E MÉTODOS	60
4.1	INPUTS DO MODELO	60
4.1.1	Projeções Macroeconômicas	60
4.1.2	Dados rodoviários	61
4.1.3	Dados intermodais.....	64
4.1.4	Dados portuários	67

4.2 VALIDAÇÃO DOS CUSTOS.....	68
4.3 MODELO DE TRANSPORTE	73
4.3.1 Função objetivo	73
4.3.2 Restrições	73
4.3.3 Parâmetros	74
4.4 ANÁLISE DE INVESTIMENTOS.....	76
4.4.1 Custos de adequação da Hidrovia Araguaia-Tocantins	76
4.4.2 Custos de implantação da Ferrogrão.....	77
4.4.3 Aplicação da Análise de Custo Efetividade (ACE).....	78
5 RESULTADOS	82
5.1 RESULTADOS GERAIS	82
5.2 RESULTADOS ESPECÍFICOS.....	86
5.3 RESULTADO DA ANÁLISE CUSTO EFETIVIDADE (ACE)	96
6 CONCLUSÃO.....	99
7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXO 1 – RESULTADOS OBTIDOS PELA ACE.....	113
ANEXO 2 – PRIMEIRO ARTIGO APROVADO NO INTERNATIONAL JOURNAL FOR INNOVATION, EDUCATION AND RESEARCH (ISSN: 2040-2244)	117
ANEXO 3 – SEGUNDO ARTIGO APROVADO NO I CONGRESSO DE ESTUDOS MULTIDISCIPLINARES NA AMAZÔNIA	118
ANEXO 4 – TERCEIRO ARTIGO SUBMETIDO NO INTERNATIONAL JOURNAL OF SUSTAINABLE TRANSPORTATION (ISSN: 1556-8334).....	119

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro corresponde a 26,6% do Produto Interno Bruto (PIB) do país (CEPEA, 2021). Segundo o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC) a exportação de soja em 2020 chegou a 82,29 milhões de toneladas, sendo a região Centro-Oeste responsável por 41,2% do total. Além disso, o Brasil hoje é o maior produtor de soja do mundo, e o Mato Grosso configura-se como o maior estado produtor (MDIC, 2021). Porém, inconsistente com o impacto positivo do agronegócio na economia brasileira, o país possui uma infraestrutura logística ineficaz, o que aumenta os custos de transporte e diminui a competitividade brasileira frente ao agronegócio mundial.

A maior parte da soja brasileira, atualmente, é escoada para o mercado externo principalmente pelos portos das regiões Sul e Sudeste, sendo estes: Santos, no Estado de São Paulo, Paranaguá, no Estado do Paraná, e Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul (MDIC, 2021). Estes portos, apesar de possuírem melhores infraestruturas portuárias em termos de produtividade e capacidade, logo mais não conseguirão acompanhar o aumento da oferta nacional e demanda mundial (LOPES, 2017).

Dentro desse aspecto, o estado Mato Grosso destaca-se, pois é o único estado que exporta carga para todos os principais portos, além disso, muitos municípios possuem mais de um porto destino (EMBRAPA, 2016). No Brasil, 27 municípios exportam mais de 500 mil toneladas de soja e milho e possuem como destino mais de um porto. Destes, 15 estão no Mato Grosso, o que o torna além do maior estado produtor, também o estado com mais opções de escoamento. Porém, o grande número de opções não se materializa em eficiência, pois a maior parte dos trajetos ainda é feita por rodovias em péssimo estado e percorrendo grandes distâncias (MPL, 2014).

Nas regiões Norte e Oeste mato-grossenses, as rotas de escoamento se dão preferencialmente pelos rios das Hidrovia do Amazonas e Tapajós ou por transporte rodoviário. O trajeto intermodal é realizado obrigatoriamente por modo rodoviário até as estações de transbordo de carga, em Porto Velho (RO), no caso do oeste do estado, ou Miritituba (PA), no caso do norte. Nestes terminais a carga é transferida para barcaças e levadas até os portos de Itacoatiara (AM), Santarém (PA) ou

Barcarena (PA) para exportação em navios de grande porte (EMBRAPA, 2016 *apud* MPL, 2014).

De acordo com (EMBRAPA, 2016 *apud* MPL, 2014), em outra rota, utilizada pelos produtores da região oriental do Mato Grosso, a carga é levada pelo transporte rodoviário até os terminais de transbordo no estado de Tocantins, onde é transferida para os trens da Ferrovia Norte-Sul, que se integra à Estrada de Ferro Carajás até o Porto de Itaquí, em São Luís (MA). Já os produtores da região sul optam pelas rotas direcionadas aos portos do sul e sudeste, como Paranaguá (PR), Santos (SP), São Francisco do Sul (SC) e Rio Grande (RS) através dos modais rodoviário, rodoferroviário e rodohidroviário.

Os principais fluxos rodoviários de escoamento do Mato Grosso totalizam 3042 km sendo 1647 km não pavimentados e 1395 km pavimentados e o investimento para adequar a infraestrutura à exportação é estimado em R\$ 347,67 milhões, sendo R\$ 53,36 milhões em conservação e R\$ 294,3 milhões em manutenção (IMEA, 2014). Somados aos investimentos nos estados que possuem os principais portos exportadores, o custo de infraestrutura logística cresce vertiginosamente e reduz a competitividade do agronegócio brasileiro (IMEA, 2014 *apud* MPL, 2014). Além disso, é estimado que atualmente o custo de transporte represente até 27,5% do preço da soja que chega ao porto final, sendo o transporte interno responsável por até 23% desse total (SALIN, 2019).

Analisar de maneira integrada os custos e as transformações na infraestrutura de transporte do país, bem como os do maior estado produtor nacional, portanto, é vital para a reestruturação da logística, planejamento de investimentos e realizar projeções para o futuro. Neste contexto, o desenvolvimento deste se concentra na análise da redução do custo de transporte através de rotas alternativas de transporte propostas na região chamada Arco Norte, tendo em vista seu potencial logístico e impacto na mudança da matriz de transporte do escoamento da soja do Mato Grosso, levando em consideração as demandas a curto e longo prazos, bem como os benefícios econômicos e socioambientais de tais empreendimentos. Este estudo também objetivou contribuir com informações que otimizem projetos e obras, evitando gastos desnecessários e possíveis adversidades, dando suporte aos gestores, já que a região tem grande potencial estratégico para o país, especialmente em termos de logística.

1.1 HIPÓTESE

Avaliar as mudanças que a Ferrogrão e a Hidrovia Araguaia-Tocantins poderão realizar na logística do escoamento da soja do Mato Grosso em direção ao Arco Norte em termos de custo e benefícios socioeconômicos e ambientais e aumento de competitividade no mercado internacional.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Otimizar as rotas de escoamento da soja do estado de Mato Grosso considerando o custo de transporte, bem como os custos dos investimentos através da Ferrogrão e Hidrovia Araguaia-Tocantins.

1.2.2 Específicos

- a) Identificar a distribuição espacial das regiões mato-grossenses produtoras de soja;
- b) Caracterizar as rotas de escoamento das origens produtoras até os portos;
- c) Desenvolver um modelo de otimização do custo de transporte da soja utilizando técnicas de Programação Linear, por meio de cenários atuais e futuros, bem como de novas rotas propostas;
- d) Calcular os benefícios das rotas propostas através da análise custo efetividade e comparar os cenários, a fim de obter critérios de implantação dentro do sistema logístico brasileiro.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Além desta introdução, em que foram descritos a contextualização do problema da pesquisa, a relevância do tema, os objetivos e a metodologia adotada, o presente trabalho está estruturado em mais seis capítulos, sendo:

O segundo capítulo compreende o arcabouço teórico desenvolvido para a contextualização do problema de escoamento da soja brasileira. No capítulo, são

apresentados os temas relacionados ao agronegócio brasileiro, bem como a análise da infraestrutura de transporte e caracterização dos portos do Arco Norte, bem como são apresentados os projetos de implantação da Ferrogrão e adequação da Hidrovia Araguaia-Tocantins. Além disso, é apresentado o modelo de transbordo através da teoria da Programação Linear. Por fim, é avaliada a importância dos investimentos em transportes e sua correlação com benefício econômico de um país, apresentando a análise custo efetividade como ferramenta de avaliação de projetos de infraestrutura.

O terceiro capítulo detalha a caracterização da área de estudo, determinando os principais centroides produtores nas regiões do estado do Mato Grosso, também são detalhadas as principais rotas de escoamento, rodoviárias e intermodais, e avaliadas características como pavimento, sinalização e geometria da via, bem como extensão da malha e tipo de bitola (no caso ferroviário). Além disso é discutida a proposta de análise através de 21 cenários, divididos em três anos (2018, 2025 e 2030), utilizando a oferta e demanda atual e suas respectivas projeções.

O quarto capítulo detalha a modelagem em Programação Linear, através do modelo de transbordo, considerando como *inputs* o frete rodoviário, ferroviário e hidroviário, bem como taxas portuárias, custos de transbordo e a oferta atual e as projeções de ofertas futuras. Além disso, também é discutida a aplicação do modelo de análise custo efetividade, a fim de avaliar os principais benefícios dos investimentos na Ferrogrão e Hidrovia Araguaia-Tocantins dentro dos cenários propostos.

O quinto capítulo mostra os resultados obtidos pelo modelo de otimização do custo de transporte através dos aspectos gerais e específicos de cada cenário. Além disso, são discutidos os resultados da avaliação de investimentos realizada pela análise custo efetividade, e são identificados os principais retornos econômicos e socioambientais dentre os cenários. Também são estabelecidos os critérios de prioridade na implantação das rotas propostas.

Por fim, o sexto capítulo apresenta as principais conclusões desta dissertação, considerando os métodos utilizados, bem como, os fatores que devem considerados em projetos de infraestrutura na logística de escoamento de soja do Mato Grosso nos próximos anos, principalmente em relação às rotas propostas, e o sétimo capítulo apresenta as sugestões de trabalhos futuros que possam vir a complementar a análise.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O AGRONEGÓCIO E A INFRAESTRUTURA DO TRANSPORTE DE CARGA

Nos últimos anos o agronegócio se estabeleceu como um segmento de significativa relevância na economia brasileira e pode ser caracterizado de acordo com dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) em um conjunto de quatro segmentos: insumos, produção agropecuária básica ou primária, agroindústria e agrosserviços. A participação do mesmo no Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil no ano de 2017 foi de 21,6%, com uma média de 24,63% quando considerado o período de 1996 a 2017 (OLIVEIRA; CARRARO, 2019).

A pesquisa de Hirakuri (2011) definiu que o expressivo aumento produtivo da soja nas últimas décadas se deve a cinco fatores: 1) importância produtiva para a alimentação humana e animal, pois a mesma apresenta um teor de proteína significativamente elevado, em torno de 40% de sua composição; 2) o potencial de produção de derivados pela extração de seu óleo e farelo, principalmente para alimentação e produção de biodiesel; 3) a sua caracterização como commodity, ou seja, é padronizada e uniforme, com ampla possibilidade de cultivo; 4) a presença de liquidez e alta demanda no mercado global e 5) o aumento contínuo da oferta devido a avanços tecnológicos produtivos.

Em maio de 2021, o Departamento de Agronegócio (DEAGRO) da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) divulgou um informativo acerca da produção mundial de soja, que foi estimada em 385 milhões de toneladas para a safra 2021/22, um aumento de 6,2% em relação a 2019/20, valor este que representa um aumento recorrente global (FIESP, 2021). A tabela 1 abaixo apresenta a produção mundial de soja estimada para a safra 2021/22.

Tabela 1 – Estimativa da produção e exportação mundial de soja para a safra 21/22

Produção mundial (milhões de t)					Exportação mundial (milhões de t)				
Países	Safras		Variação		Países	Safras		Variação	
	20/21	21/22	Abs.	%		20/21	21/22	Abs.	%
Brasil	136,0	144,0	8,0	5,9	Brasil	86,0	93,0	7,0	8,1
EUA	112,5	119,9	7,3	6,5	EUA	62,1	56,5	-5,6	-9,0
Argentina	47,0	52,0	5,0	10,6	Argentina	6,6	6,5	-0,1	-1,5
China	19,6	19,0	-0,6	-3,1	Paraguai	6,4	6,4	0,0	0,0
Demais	47,8	50,6	2,8	5,9	Demais	10,4	10,6	0,2	2,1
Mundo	362,9	385,5	22,6	6,2	Mundo	171,4	172,9	1,5	0,9

Fonte: FIESP (2021)

Na safra 2021/2022 o Brasil está previsto como o maior produtor mundial de soja com estimativa de 144 milhões de toneladas, obtendo acréscimo de 5,9% em relação à estimativa do mesmo período da safra 2020/2021 e estabelecendo um novo recorde. (FIESP, 2021).

Em 2021 o Brasil é apontado como maior exportador mundial de soja, com expectativa de 93,0 milhões de toneladas na safra 2021/2022, um acréscimo de 8,1% em relação à safra anterior. As exportações globais de soja devem aumentar em 0,9%, para 172,9 milhões de toneladas. É estimada que a participação dos EUA nas exportações mundiais de soja diminua, enquanto a participação do Brasil deve aumentar de 50% em 2020/21 para 54% em 2021/22 (FIESP, 2021). Para a Confederação Nacional do Transporte as condições climáticas, de uso e ocupação do solo, para o cultivo da soja, bem como alta rentabilidade, e crescente demanda explicam a propensão pela produção deste grão (CNT, 2015). Porém, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) a expansão das terras agrícolas nos próximos anos é inevitável, a fim de que a alta produtividade brasileira seja mantida (CONAB, 2019).

De acordo com o CONAB o PIB brasileiro segundo estimativas do Banco Central (BACEN) obteve crescimento, em 2019, de 0,87%. Os setores da agropecuária (1,7%) e indústria (1,1%) são os que apresentaram o melhor desempenho calculado. Contudo, a indústria de transformação, o transporte e o comércio apresentaram queda na atividade, e esses grupos são importantes para a manutenção de um crescimento por períodos mais longos (CONAB, 2019).

Tendo em vista a importância econômica do agronegócio brasileiro, estudos de demandas futuras vêm sendo desenvolvidos a fim de que se busque melhores soluções logísticas e planejamentos para o escoamento da produção nacional nos próximos anos. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) a projeção de soja em grão para 2028/29 foi estimada em 151,9 milhões de toneladas, um acréscimo de 32,9% em relação à produção de 2018/19, porém inferior ao crescimento dos últimos 10 anos, que foi de 67% (MAPA, 2019).

Para o MAPA o consumo doméstico da soja em grão deverá atingir 53,9 milhões de toneladas no final da projeção, mas que pode chegar a 62,0 milhões de toneladas, além disso, o aumento do consumo projetado é de 22,6% nos próximos 10 anos. A área de soja deve aumentar 9,5 milhões de hectares nos próximos 9 anos, chegando em 45,9 milhões de hectares. Já em relação às exportações, é previsto um

total de 96,4 milhões de toneladas no final da projeção e a variação prevista prevê um aumento na quantidade exportada de soja na ordem de 41,8% (MAPA, 2019).

Em relação à produtividade da soja, a mesma é considerada um desafio, evidenciado pelo fato de que suas projeções mostram relativa estagnação. A expansão deverá ocorrer por meio de uma combinação da expansão de fronteira em regiões onde ainda há terras disponíveis, ocupação de terras de pastagens e substituição de lavouras onde não há terras disponíveis a serem incorporadas (MAPA, 2019; CONAB, 2019). A figura 1 ilustra as projeções da soja.

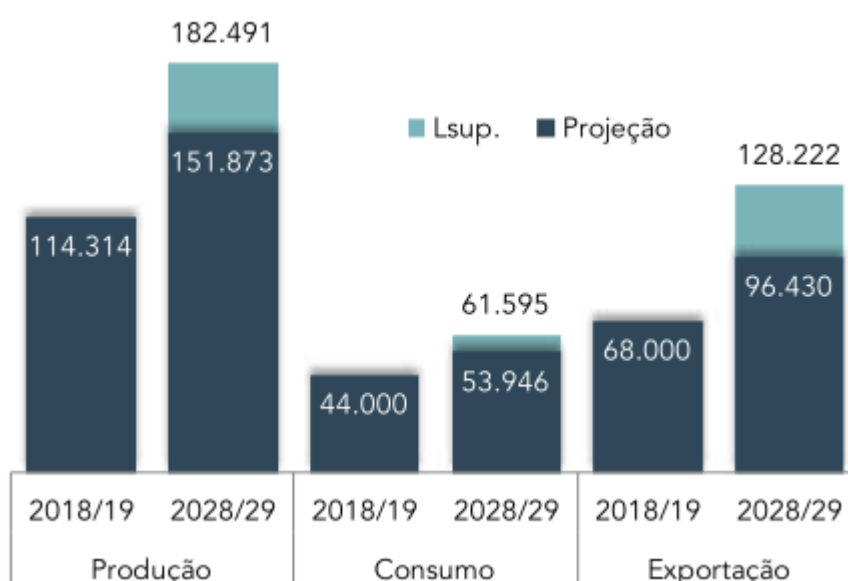


Figura 1 – Produção, consumo e exportação de soja (mil t)
Fonte: MAPA (2019)

A produção da soja se concentra principalmente na região Centro-Oeste, sendo responsável por 45% da produção na safra 2018/19 e 2019/20, com respectivamente 52,6 e 54,5 milhões de toneladas e o principal estado produtor brasileiro é o Mato Grosso, com 33 milhões de toneladas, cerca de 27,5% de toda a produção nacional. A região sul é a segunda mais produtiva, representando cerca de 32% da produção de soja, valor correspondente a 40 milhões de toneladas. O Nordeste possui a terceira maior produção do país, com 10,5 milhões. Por fim, as regiões Sudeste e Norte contribuem com respectivamente 8,8 e 6,2 milhões de toneladas (CONAB, 2019). A figura 2 representa a divisão da produção de soja no país.

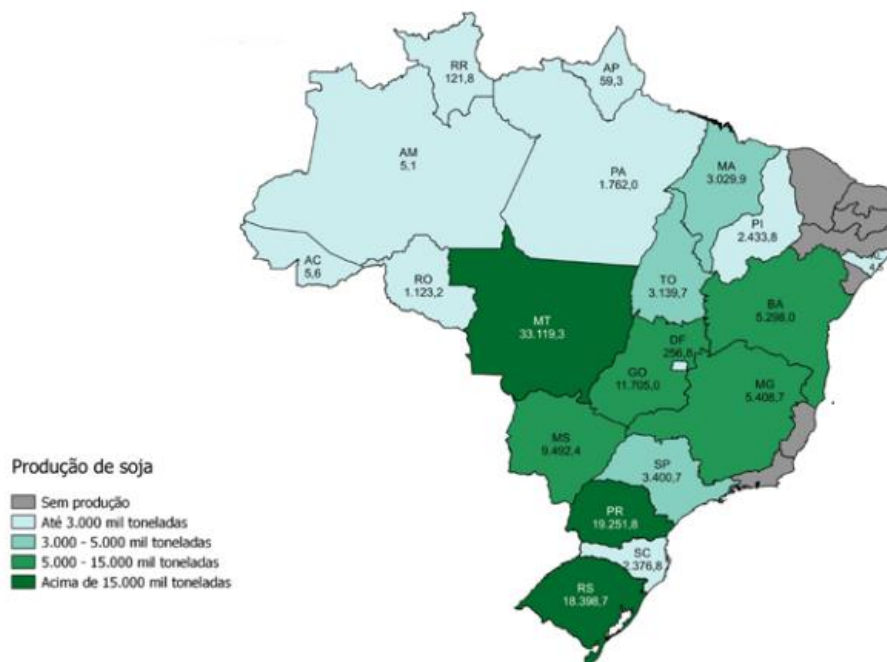


Figura 2 – Produção agrícola – soja (safra 2018/2019)
Fonte: CONAB (2019)

Nos próximos anos a tendência no Brasil é que a expansão do agronegócio ocorra principalmente sobre terras de pastagens naturais. Estima-se que a expansão de área deve ocorrer em áreas de grande potencial produtivo, como as áreas de cerrado compreendidas na região que atualmente é chamada de MATOPIBA, por compreender terras situadas nos estados de Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MAPA, 2019). Dessa maneira, as projeções demonstram o direcionamento do agronegócio para a região Norte e Nordeste e notabilizam a necessidade de melhoria da infraestrutura de transporte nessas áreas.

2.1.1 A logística de escoamento da soja

De acordo com a definição proposta pelo *Council of Logistics Management - CLM* em 2015, a gestão da cadeia de suprimentos integra a gestão e o planejamento da oferta e demanda de insumos e produtos dentro de e entre empresas, envolvendo atividades como fornecimento, aquisição, conversão e logística (CLM, 2015).

Para os autores Daskin (1985) e Ballou (2005) a logística, a qual é parte da cadeia de suprimentos, envolve o planejamento e operações de sistemas físicos, informacionais e gerenciais para que os fluxos e armazenagem de mercadorias (insumos e produtos), bem como os serviços, vençam condicionantes espaciais e

temporais de forma econômica e eficiente desde o ponto de origem até o consumo, visando atender às exigências dos clientes.

Já a agrologística pode ser classificada de acordo a um subconjunto de atividades envolvendo operações de insumos e produtos de agronegócio, ou seja, a agrologística diz respeito a fazer com que os produtos e insumos da cadeia alimentar cheguem no lugar certo, na hora certa, e em condições adequadas e que se gaste o mínimo possível com tal atividade (CAXEITA-FILHO, 2001).

É indiscutível a contribuição da cadeia produtiva da soja em relação à geração de divisas para o Brasil no cenário mundial. Entretanto, a soja é uma *commodity* caracterizada pelo seu baixo valor agregado; portanto, é necessário o desenvolvimento de sistemas logísticos que possibilitem o incremento da competitividade dos produtores envolvendo o transporte de quantidades cada vez maiores (OLIVEIRA et al., 2015).

A figura 3 mostra, esquematicamente, o fluxograma do escoamento da produção da soja, desde a origem nas propriedades rurais até seus destinos, no mercado interno, indústrias de processamento e portos de exportação. O escoamento da produção agrícola ocorre em etapas distintas. Uma é destinada diretamente das lavouras para os armazéns públicos, propriedades rurais, cooperativas ou *tradings*, caracterizadas por transporte rodoviário fragmentado e altos custos. A outra etapa consiste no transporte dos produtos desde a lavoura até as indústrias de processamento ou diretamente aos portos (CNT, 2015).

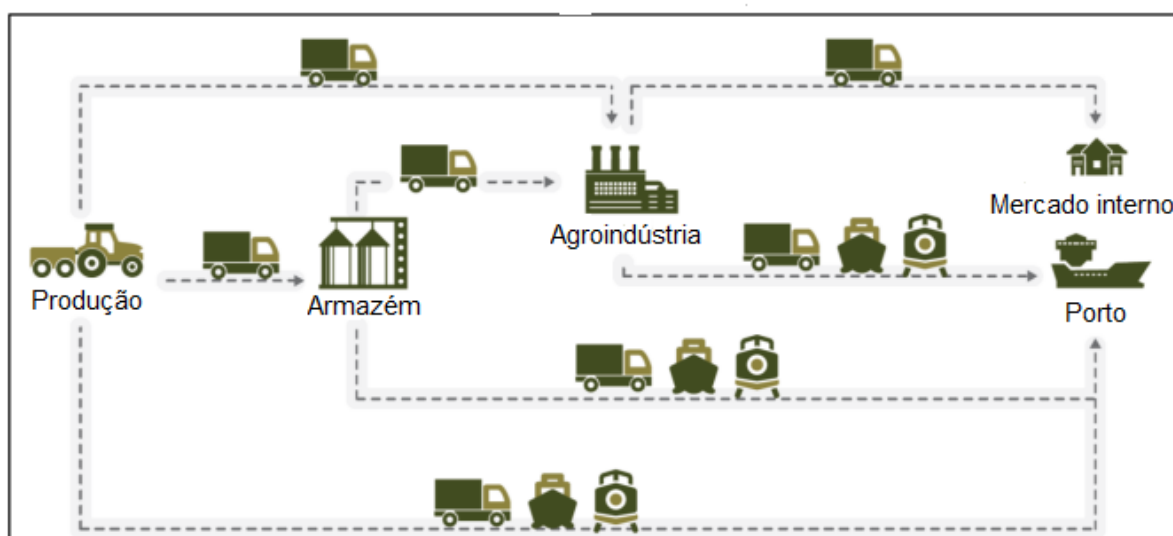


Figura 3 – Logística da distribuição de grãos e derivados no Brasil
Fonte: Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (2017)

No Brasil, o escoamento da soja é realizado majoritariamente pelo modal rodoviário. A distribuição destinada às indústrias de processamento e posteriormente o mercado consumidor interno é realizada pelo modal rodoviário. As cargas destinadas aos portos são transportadas por rodovias, ferrovias e hidrovias, e em alguns casos pela combinação entre os modais (SOUZA et al., 2020 *apud* CNT, 2019).

Para Goes e Lopes (2018) o problema de o modal rodoviário transportar a maior parte da soja é a sua capacidade de carga, pois a mesma é extremamente reduzida em relação aos modais ferroviário e hidroviário. Além de implicações em consumo de combustíveis e emissão de gases poluentes, o transporte de soja ocorre por grandes distâncias em estradas com péssimas condições. Desse modo, a infraestrutura de escoamento deve considerar não apenas os modais de transporte, como também a existência de armazéns para a manutenção das safras e infraestrutura portuária para transbordo de carga ou exportação em navios de longo curso.

Para que a logística do agronegócio seja bem estruturada são necessárias a identificação e classificação dos critérios de decisão que venham a ser utilizados pelos agentes envolvidos na cadeia, sendo que o principal deles é o dispêndio financeiro total em torno de tais operações (FIGUEIREDO et al., 2015). Atualmente a estimativa de crescimento da produção de grãos supera a capacidade de expansão da infraestrutura nacional com consequências diretas no transporte, quebras de contrato, atrasos na entrega e perdas de parcelas significativas de mercados internacionais (SOUZA et al., 2020 *apud* CNT, 2019)

Tendo em vista a problemática do escoamento da soja brasileira, inúmeros trabalhos foram realizados, como a pesquisa de Borges Júnior e Pinto (2016) que caracterizou a rede de fluxo ótimo da exportação da soja produzida no Vetor Logístico Centro-Sudeste do Brasil, considerando a infraestrutura logística existente em 2012. Os resultados apontaram que o Porto de Santos é o grande receptor da produção das regiões do Triângulo Mineiro, sudoeste de Minas Gerais, sul de Goiás, São Paulo e parte dos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Já a produção do norte do Paraná deve ir para o porto de Paranaguá, sendo o transporte rodoviário responsável por 57% do volume exportado.

Já a pesquisa realizada por Silva Neto (2018) analisou através da Programação Linear potenciais ganhos oriundos de investimentos na cadeia logística de soja e milho com destino à exportação. O modelo adotado engloba o transporte interno, sendo ele intermodal e rodoviário, os custos portuários e o frete marítimo internacional. Foram

desenvolvidos 10 cenários com diversas características operacionais distintas levando em consideração a ampliação da oferta e demanda. Como principais resultados, foram demonstrados que investimentos em capacidade dos portos do Arco Norte foram os principais redutores de custo logístico, bem como implantação de empreendimentos de transporte com destino a estes portos do Norte com potenciais reduções da ordem de R\$ 1,2 bilhões de reais apenas para o ano de 2017.

Ao considerar a complexidade da cadeia logística do agronegócio, levando em consideração a importância da rede de suprimentos de fertilizantes, o trabalho de Bucker (2019) analisou a otimização da rede de planejamento da mesma no Estado do Mato Grosso e aspectos como zoneamento, demanda, capacidade de portos e fábricas e fluxos de transportes foram analisados. O estudo concluiu que a alteração dos fluxos para o norte do país, além de reduzir custos dos insumos agrícolas, beneficia-se, também, todo o setor produtivo, reduzindo a pressão sobre rodovias e sobre os portos do Sul e Sudeste.

Diante de tais estudos, destaca-se a importância das pesquisas na área de logística de transporte brasileira, em especial o escoamento da soja, visto que a crescente importância do Brasil no mercado internacional impulsiona a produção e exportação e traz não apenas benefícios econômicos ao país, mas possui a capacidade de atrair investimentos socioambientais à população e fomento à pesquisas, principalmente nas regiões mais carentes de infraestrutura, como o Norte e o Nordeste, pontos cada vez mais importantes de saída da produção nacional.

2.2 O ARCO NORTE

Antes de definir o Arco Norte, é necessário discorrer acerca do sistema hidroviário nacional. O mesmo é regulamentado pela Lei nº 12.815 que dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários. Basicamente ela define o tipo de exploração e classifica os tipos de instalações portuárias (BRASIL, 2013), conforme a seguir:

- Porto organizado: bem público construído e aparelhado para atender a necessidades de navegação, de movimentação de passageiros ou de movimentação e armazenagem de mercadorias, e cujo tráfego e operações portuárias estejam sob jurisdição de autoridade portuária;

- Terminal de uso privado (TUP): instalação portuária explorada mediante autorização e localizada fora da área do porto organizado;
- Estação de transbordo de cargas: instalação portuária explorada mediante autorização, localizada fora da área do porto organizado e utilizada exclusivamente para operação de transbordo de mercadorias em embarcações de navegação interior ou cabotagem;
- Instalação portuária pública de pequeno porte (IP4): instalação portuária explorada mediante autorização, localizada fora do porto organizado e utilizada em movimentação de passageiros ou mercadorias em embarcações de navegação interior
- Instalação portuária de turismo: instalação portuária explorada mediante arrendamento ou autorização e utilizada em embarque, desembarque e trânsito de passageiros, tripulantes e bagagens, e de insumos para o provimento e abastecimento de embarcações de turismo;
- Complexo portuário: É o conjunto de terminais voltados à armazenagem e movimentação de cargas e passageiros instalados ao longo da área do porto organizado.

A partir dessa terminologia é possível classificar o Arco Norte. Desse modo, com a presença dos maiores produtores na região Centro-Norte do Mato Grosso, uma opção seria o escoamento da produção pelos portos do Norte e Nordeste, visto que os mesmos estão mais próximos das regiões produtoras, no Brasil e mercados consumidores, como os Estados Unidos e Europa. Logo, a procura por novas alternativas tornou-se prioridade em decorrência da expansão geográfica da fronteira do agronegócio (CNT, 2015 *apud* BRASIL, 2016).

A partir dessa análise, surgiu como possível alternativa o escoamento via Arco Norte. O mesmo foi definido como a zona de exportação pelos terminais de transbordo e uso privado nos portos de Porto Velho (RO) e Miritituba (PA) com destino aos portos do Norte e Nordeste do país, congregando os portos de Itacoatiara (AM), Santarém (PA), Vila do Conde (PA), Itaqui (MA) e Santana (AP) (FERREIRA, 2017; SOLIANI, 2015; BRASIL, 2016). A Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) define ainda o Arco Norte como um plano estratégico que compreende portos ou

estações de transbordos dos estados de Rondônia, Amazonas, Pará, Amapá, Maranhão e Bahia, sendo estes portos acima do Paralelo 16°S (ANTAQ, 2019).

Para CNT (2015) o aproveitamento hidroviário das bacias Amazônica, Tocantins-Araguaia e Tapajós impulsionam a redução do custo e aumento da capacidade logística. Porém, ainda existem grandes obstáculos como carência de investimentos nas instalações portuárias, sinalização e adequação de trechos hidroviários, deficiência de acessos rodoviários, além de baixa expansão e integração da malha ferroviária com os outros modais. A figura 4 ilustra o Arco Norte.

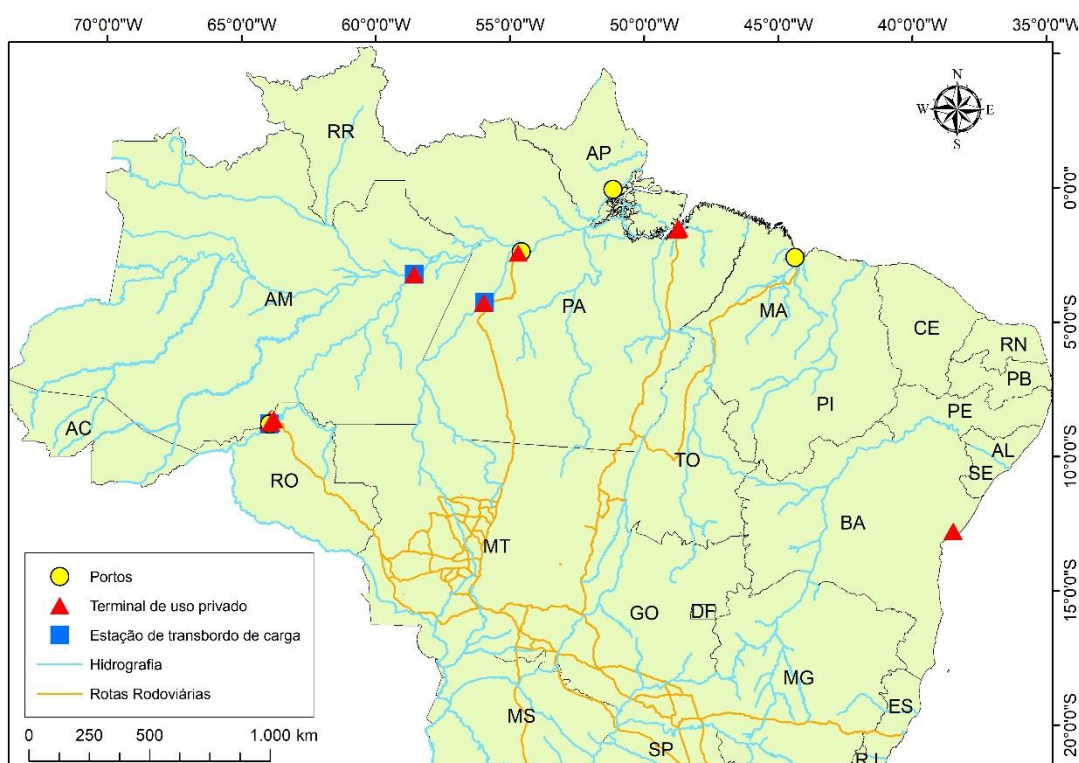


Figura 4 – O Arco Norte
Fonte: Autor (2021)

Em 2020, segundo a ANTAQ, o Arco Norte possuía 12 TUPs e 4 portos públicos movimentam soja em grãos, classificados em nove complexos portuários. Neste ano, o Arco Norte exportou 46,6 milhões de toneladas, cerca de 45% de toda a movimentação de soja no Brasil. Além disso, as TUPs foram responsáveis por 64%, cerca de 24 milhões de toneladas (ANTAQ, 2021).

A figura 5 demonstra que a região Norte movimenta a maior parte da soja, sendo responsável por 75%, cerca de 35 milhões de toneladas, o estado do Pará lidera com a movimentação de mais de 17 milhões de toneladas, principalmente pelas TUPs no porto de Santarém e as TUPs Terminal Vila do Conde e Terminal Ponta da Montanha no Porto de Vila do Conde. A região Nordeste correspondeu a 11,6 milhões de toneladas, cerca de 25% do total movimentado liderada principalmente pelo porto de Itaqui, no Maranhão.

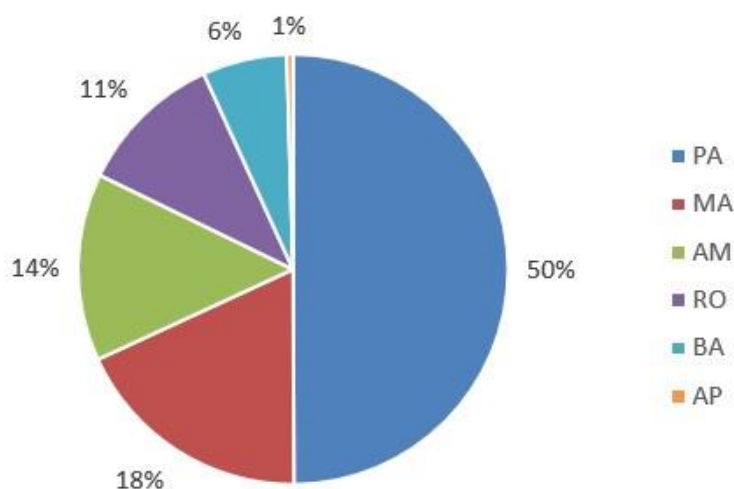


Figura 5 – Participação de cada estado na movimentação de soja pelo Arco Norte
Fonte: ANTAQ (2020)

Segundo o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) atualmente, a principal rota de escoamento da produção de grãos do estado do Mato Grosso ainda é através do Porto de Santos, com interligação entre os modais rodoviários e ferroviários (MDIC, 2018). Para Zamboni (2011) esta rota perfaz mais de 2200 km em muitos casos, o que representa uma grande diferença em relação ao escoamento pelo Arco Norte. Logo, a análise de rotas de escoamento através do Arco Norte pode representar redução de custos e aumento de competitividade comercial.

2.2.1 Ferrogrão

Dentro do aspecto de investimentos em infraestrutura, em especial no Arco Norte, um projeto se destaca pela possibilidade de aumentar a competitividade do Brasil perante o comércio internacional e ajudar a estabelecê-lo como maior exportador mundial de soja nos próximos anos, a Ferrogrão.

A apresentação do projeto foi anunciada pelo governo federal no ano de 2016, através do Programa Parcerias de Investimento (PPI), que objetiva a ampliação e fortalecimento da interação entre o Estado e a iniciativa privada por meio da celebração de contratos de parceria e de outras medidas de desestatização (PPI, 2020). Atualmente o projeto está em fase de consulta pública.

De acordo com PPI (2020) e ELP (2016), A EF-170, também chamada de Ferrogrão, visa consolidar o novo corredor ferroviário de exportação do Brasil pelo Arco Norte. A ferrovia conta com uma extensão de 933 km, conectando a região produtora de grãos do Centro-Oeste brasileiro ao Estado do Pará, aos terminais de transbordo de carga em Miritituba (PA), posteriormente alcançando os portos de Santarém (PA), Vila do Conde (PA), Itacoatiara (AM) e Santana (AP).

O projeto, demonstrado na figura 6 faz frente à expansão da fronteira agrícola brasileira e à demanda por uma infraestrutura integrada de transportes de carga, produzindo benefícios socioeconômicos de alto impacto para as regiões entre os estados de Mato Grosso e Pará. A demanda projetada para o ano de 2020 é de 25 milhões de Tonelada Útil (TU) e 42 milhões de TU em 2050, com prazo de concessão de 65 anos à iniciativa privada (PPI, 2020).

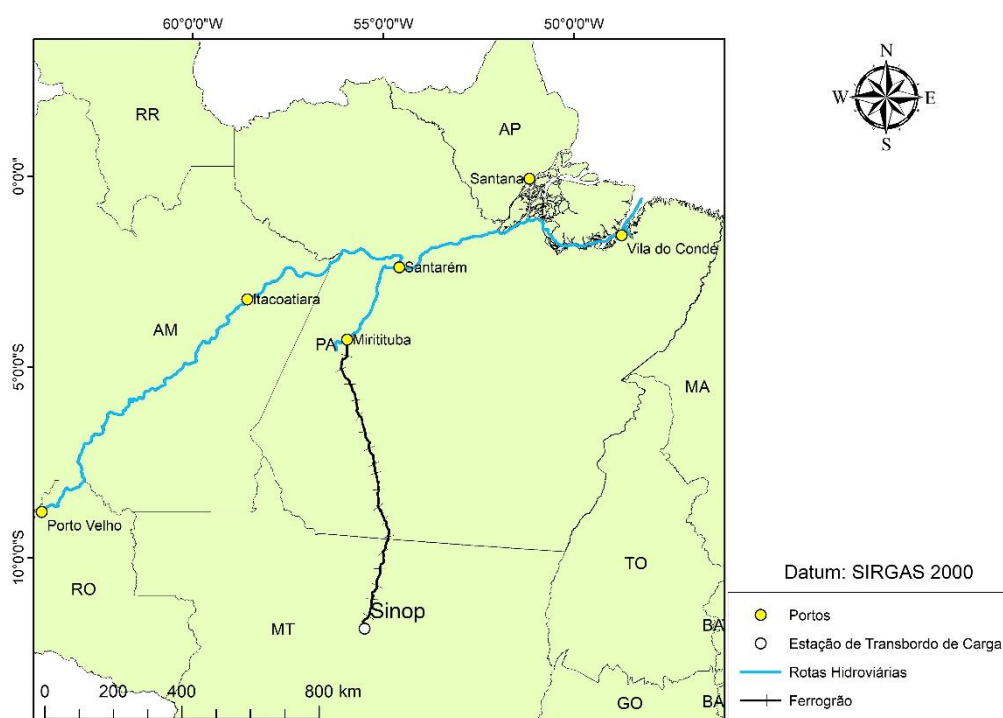


Figura 6 – A EF-170, conhecida como Ferrogrão
Fonte: Autor (2021)

2.2.2 Hidrovia Araguaia-Tocantins

Outro empreendimento oportuno para a logística do Arco Norte é a Hidrovia do Araguaia-Tocantins. A mesma é uma das principais vias de transporte do corredor Centro-Norte brasileiro, e por estar localizada no Cerrado, a maior região produtora de grãos do País, tem potencial para se transformar numa das mais importantes hidrovias do país. A hidrovia possui potencial navegável de aproximadamente 3000 km e entre os anos de 2010 a 2014 foi responsável por 14617729 toneladas de carga transportada (DNIT, 2020).

No período das cheias, é possível navegar até 2000 km pelas águas do rio Tocantins, neste percurso a embarcação utiliza uma eclusa existente na barragem da Usina Hidrelétrica de Tucuruí. No período de seca, a navegação fica comprometida a partir do lago de Tucuruí devido ao Pedral do Lourenço, um trecho de 43 km de afloramentos rochosos que impede a navegação comercial de grande porte entre o final do reservatório da hidrelétrica e a cidade de Marabá (PA). A imagem 7 ilustra a hidrovia com os terminais de transbordo propostos (DNIT, 2020).

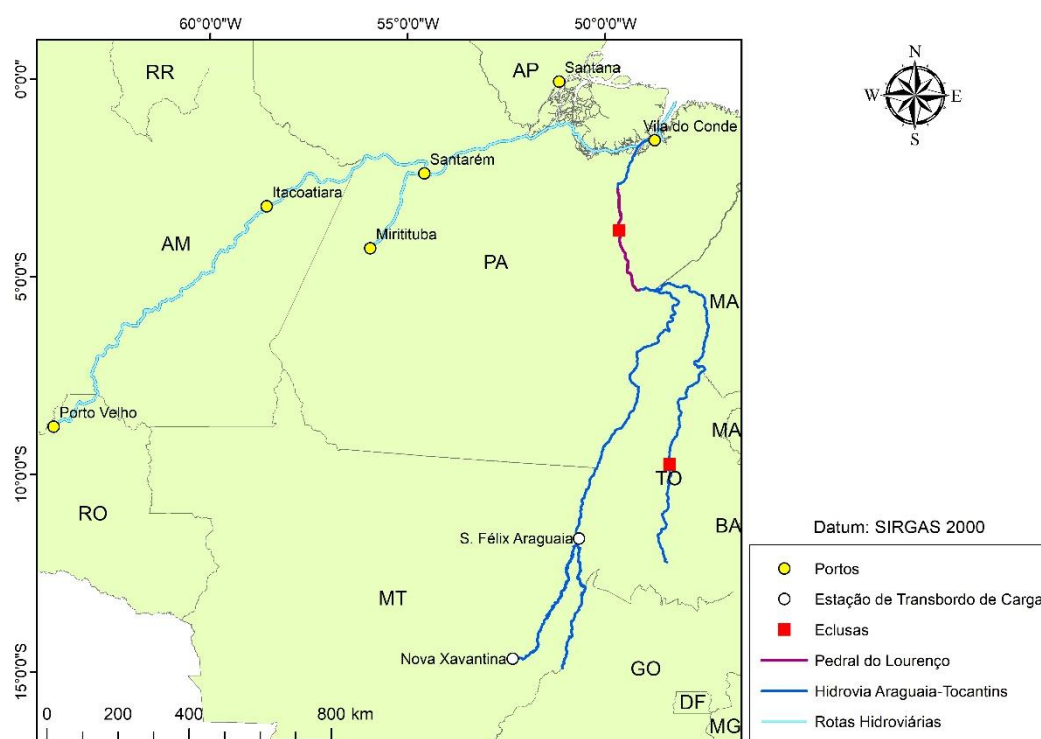


Figura 7 – A Hidrovia Araguaia Tocantins

Fonte: Autor (2021)

O projeto da hidrovia define a capacidade de transporte em comboios em 108 metros de comprimento, 16 metros de boca e calado de 1,5 metro. Já o trecho de 43 km do Pedral do Lourenço, que fica entre a Ilha da Bogéa e Santa Terezinha do Tauri, comporta comboios de 150 metros de comprimento e 32 metros de largura, com calado mínimo de 2,1 metros (DNIT, 2020, PNIH, 2013).

Atualmente, existe um projeto de derrocamento do Pedral do Lourenço, que busca viabilizar a navegação comercial na hidrovia durante todo o ano. De acordo com PPI (2020) esta iniciativa está na fase de licenciamento ambiental e a conclusão da obra está prevista para outubro de 2022. Entre as principais vantagens são citadas: a navegabilidade ininterrupta entre Marabá e o Porto de Vila do Conde, redução do custo de transporte, aumento da competitividade e projeção de movimentação de 20 milhões de toneladas/ano no ano de 2025 (DNIT, 2020).

2.2.3 Demanda e capacidade do Arco Norte

Desde a promulgação da Lei 12.815/2013, que busca a reestruturação do planejamento portuário, foram desenvolvidos Planos Mestres de todos os complexos portuários do país dentro da perspectiva de análise proposta pelo Plano Nacional de Logística Portuária (PNLP). Desse modo, uma das principais estratégias foi a busca pela visão estratégica a respeito do desenvolvimento dos respectivos complexos ao longo dos próximos anos bem como priorização de investimentos de modo a otimizar o nível de serviço. Desse modo, um dos principais objetivos foi a projeção da demanda até o ano de 2060.

Segundo PNL (2019) em 2018 o Arco Norte foi responsável pelo escoamento de 23,1% da soja brasileira. Em 2025 ampliará sua participação chegando a 28,5%, cerca de 54 milhões de toneladas. Já em 2060, o Arco Norte escoará cerca de 34,6%, valor este correspondente a 105 milhões de toneladas. Entretanto, de acordo com (PNLP, 2019), ao analisar o panorama nacional, os resultados da projeção da demanda nacional apontam um crescimento de 110% no decorrer do período projetado (2018-2060), alcançando um patamar de 305 milhões de toneladas em 2060.

A partir de 2025 a capacidade portuária brasileira já se mostra ineficaz, com déficit de 4 milhões de toneladas, e se nada for feito, este valor pode chegar a 119 milhões de toneladas no último ano da projeção (PNLP, 2019), conforme a figura 8 abaixo.

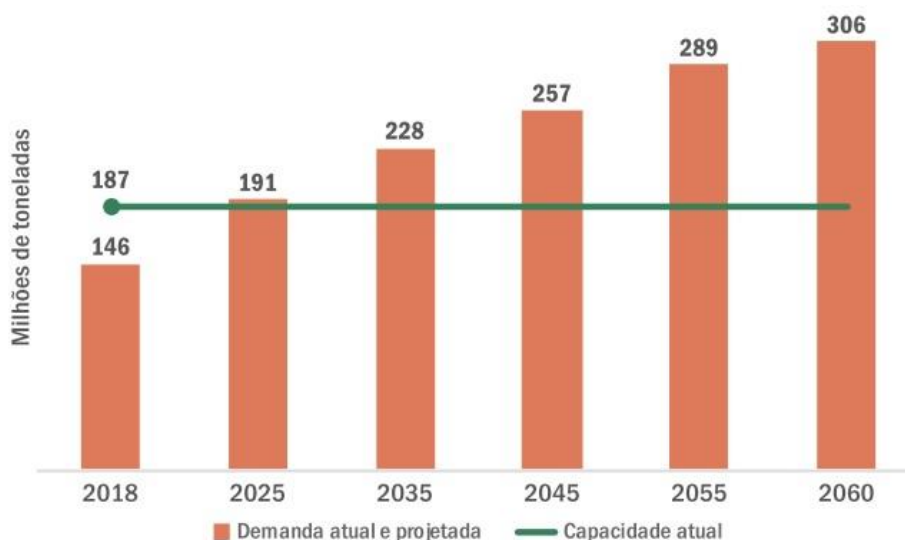


Figura 8 – Projeção da demanda x capacidade de granéis sólidos vegetais
Fonte: MINFRA (2019)

Este trabalho utilizou a mesma metodologia aplicada pelo PNLN para analisar a capacidade e demanda do Arco Norte utilizando a classificação em *Clusters*. Os mesmos podem ser classificados como conjuntos de portos e terminais privados geograficamente próximos entre si.

Esta premissa foi adotada devido à semelhança de custos logísticos que incide entre portos próximos geograficamente, fazendo com que a decisão do embarcador seja definida por questões operacionais e nível de serviço oferecido pelas instalações portuárias, possibilitando que a carga migre entre terminais devido a questões concorrenciais (PNLP, 2019). Apesar da Bahia ser incluída no Arco Norte, foram analisados apenas 3 clusters sendo eles: *Cluster* do Pará-Amapá, Amazonas-Rondônia e Maranhão, visto que estes exportam a soja oriunda do Mato Grosso.

- Análise da demanda dos *Clusters* portuários

A demanda atual do *Cluster* do Pará-Amapá é de 19,44 milhões de toneladas, em 2060 esse valor chega a 43,12 milhões de toneladas, valor este correspondente a um acréscimo de 122% comparado a 2018. Já o *Cluster* do Amazonas-Rondônia possuiu uma demanda em 2018 de 3,4 milhões de toneladas, em 2060 o valor pode chegar a 8,92 milhões de toneladas, um aumento de aproximadamente 162%. O *Cluster* Maranhão possui em 2018 movimentou 11,84 milhões de toneladas e em 2060 de acordo com a projeção do PNLN a demanda será de 28,83 milhões de toneladas (PNLP, 2019), um aumento de 143%. A figura 9 abaixo ilustra a capacidade e a demanda no cenário futuro.

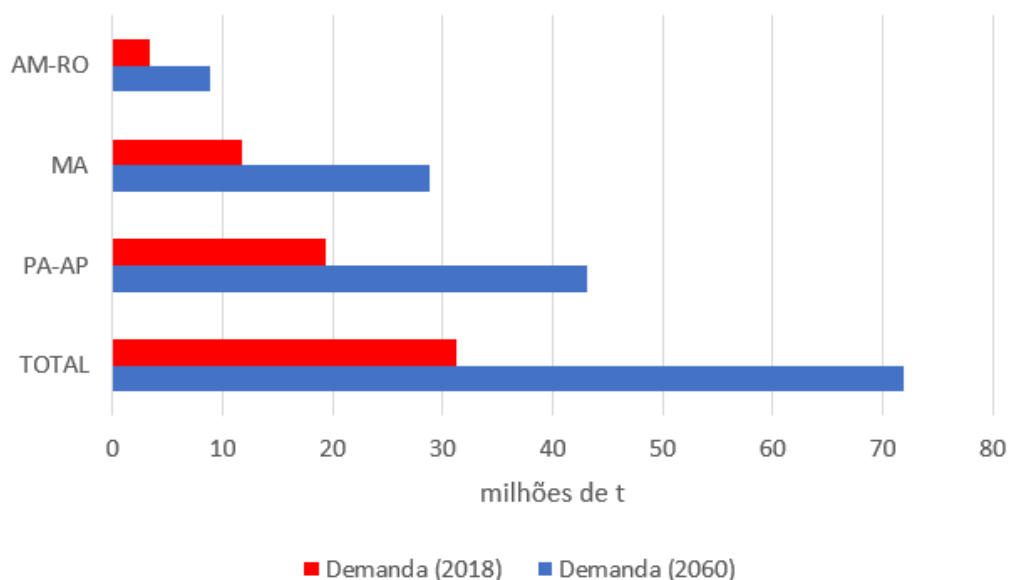


Figura 9 – Demanda em 2018 e projetada em 2060 de exportação de grãos vegetais dos clusters do Arco Norte
Fonte: PNLN (2019)

Observa-se que os estados do Amazonas e Rondônia possuem a maior taxa de aumento da demanda, ainda que os valores sejam substancialmente menores do que os presentes nos outros. Em seguida vem os estados do Pará e Amapá, sendo a participação do Amapá como grande novidade e opção logística para o Arco Norte nos próximos anos. A partir da análise conclui-se que o déficit total é de 80,87 milhões de toneladas em 2060 (PNLP, 2019), logo, mudanças são necessárias nos próximos anos para equilibrar a logística de escoamento da soja através da região.

- Análise da capacidade portuária dos *Clusters* portuários

A capacidade atual do *Cluster* Pará-Amapá é de aproximadamente 23,15 milhões de toneladas. Em 2025 este valor sobe para 37,88 milhões de toneladas. Já em 2030, a quantidade prevista é de 41 milhões de toneladas, um aumento de 81%. Em relação ao Cluster do Amazonas-Rondônia, não foram encontrados dados oficiais acerca das projeções de capacidade portuária no estado do Amazonas sobre soja, desse modo, foi considerado apenas a análise do estado de Rondônia através do complexo portuário de Porto Velho.

Portanto, em 2020 a capacidade foi estimada em 6,19 milhões de toneladas, já em 2025 o valor considerado foi 7,13 milhões de toneladas, cerca de 15% maior. Em 2060 a capacidade portuária projetada é de 7,76 milhões de toneladas. Por fim, o Cluster do Maranhão, que em 2020 apresentou uma capacidade de 10,34 milhões, para 2025 estima-se que este valor aumente em cerca de 46%. Já em 2030, a capacidade portuária prevista é de 17,29 milhões de toneladas, um aumento de 67% em relação a capacidade atual (PNLP, 2019). A figura 10 ilustra estes cenários.

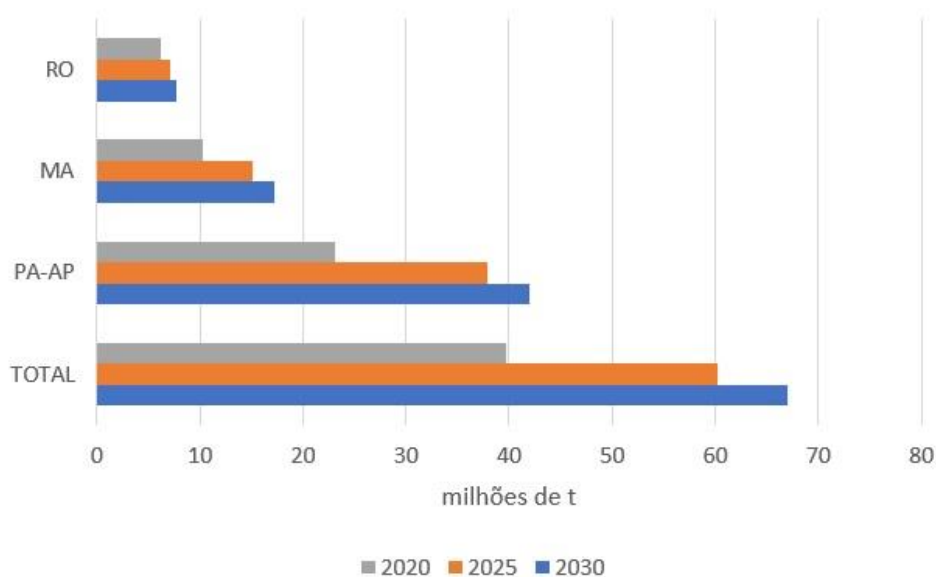


Figura 10 – Capacidade atual e projetada dos Clusters do Arco Norte
Fonte: PNL (2019)

É possível analisar de acordo com a figura 12 que atualmente a capacidade portuária do Arco Norte, sem considerar o estado do Amazonas, possui cerca de 39,65 milhões de toneladas, sendo este valor suficiente para o escoamento atual da soja. Em 2025 e 2030, com a demanda estimada em 41 e 45 milhões de toneladas de soja

oriundas do Mato Grosso, o Arco Norte terá uma capacidade portuária projetada em 60 milhões de toneladas e 66 milhões de toneladas, respectivamente, sendo estes valores mais do que suficientes para exportar a produção mato-grossense. No entanto, ao considerar novas origens produtoras, como a região do MATOPIBA e do sudeste do Pará nos próximos anos, é provável que esta relação entre oferta e demanda sofra alterações.

2.3 PROGRAMAÇÃO LINEAR E ALGORITMO SIMPLEX

A modelagem matemática pode ser definida como o uso de técnicas e algoritmos a fim de resolver problemas de otimização, portanto, se trata de uma ferramenta de grande valor em processos de tomada de decisão, e é caracterizada por um conjunto de relações matemáticas representando um problema real (SILVA, 2018). Já para Pidd (2000) modelar matematicamente permite o desenvolvimento do estudo científico, através de expressões quantitativas, que preveem os efeitos que mudanças podem causar em um sistema.

Nesse aspecto, o desenvolvimento da Programação Linear, oriunda da modelagem matemática, é considerado um dos avanços científicos mais significativos do século XX, pois se tornou um instrumento padrão no auxílio a diversas aplicações. Seu conceito tem a ver com o planejamento das atividades buscando um resultado "ótimo" entre as múltiplas possibilidades ou soluções factíveis (VANDERBEI, 2020).

Segundo Hillier e Lieberman (2006) e Vanderbei (2020), a Programação Linear exige a obtenção de um conjunto de dados, denominados parâmetros, referentes ao problema real a ser resolvido para que seja possível elaborar o modelo matemático linear correspondente ao problema. Tais parâmetros são os coeficientes das variáveis de decisão e as limitações de recursos, as restrições.

Em 1947, George Dantzig publicou o primeiro método eficiente para se solucionar problemas de Programação Linear, o Método Simplex. Geometricamente, esse método consiste em andar de ponto extremo a ponto extremo da região factível, ou seja, região onde o resultado ótimo se localiza, até encontrar o valor ótimo para a função objetivo (DANTZIG, 1990). De acordo com Dantzig (1998) e Pinto e Menezes (2008) para ser iniciado, o Método Simplex necessita de uma solução factível básica. Sempre que possível, a origem pode ser a solução factível básica inicial a ser

escolhida. Isso se torna possível quando as variáveis de decisão possuem restrição de não negatividade.

Após o método, é verificado se a solução inicial é ótima, em caso afirmativo, o procedimento está concluído, caso contrário, o método faz a mudança para o ponto extremo adjacente que melhore o valor da função objetivo. Tal fato decorre devido a facilidade em termos computacionais de verificar uma solução em um ponto extremo adjacente em detrimento de um ponto extremo qualquer. Além disso, por ser iterativo, o Método Simplex repete o procedimento para a nova solução factível básica. Por fim, pelo teste de otimalidade, examina-se cada um dos lados da região factível e identifica-se a taxa de crescimento/decrescimento da função objetivo (DANTZIG, 1998; DI SIERVO, 2017).

A forma padrão de um problema de Programação Linear está representada pelas funções lineares, maximizando ou minimizando a função objetivo, de acordo com as restrições do modelo (igualdades e/ou desigualdades lineares) que expressam as condições do problema, com as constantes, ou parâmetros, e as variáveis de decisão do tipo não-negativo, a fim de determinar a melhor combinação de valores que as variáveis podem assumir (solução ótima para a função objetivo) (HILLIER; LIEBERMAN, 2006; PASSOS, 2009; DANTZIG, 1998; VANDERBEI, 2020).

$$\text{Min/Max } Z = c_x + \dots + c_n x_n \quad (1)$$

sujeito a

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n \begin{bmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{bmatrix} b \quad (2)$$

Utilizando a notação matricial, o problema pode ser definido como:

$$\text{Min } z = c^T x \quad (3)$$

sujeito a

$$Ax \begin{bmatrix} \leq \\ = \\ \geq \end{bmatrix} b \quad (4)$$

$$x \geq 0 \quad (5)$$

Na equação (3) o vetor c^t trata-se de um vetor transposto $c^t = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ que representa o custo relativo de cada variável de determinado problema; a variável x em (5) determina a quantidade ótima de insumos a utilizar nos produtos, de forma que este vetor deva assumir sempre valores maiores ou iguais a zero; x e b são vetores colunas, conforme (6).

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

A matriz A representa as restrições:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

O objetivo do Método Simplex é determinar um vetor x que satisfaça as restrições do problema e apresente o menor ou maior valor da função objetivo. O que tornou o Simplex tão popular é a facilidade encontrada ao se manipular qualquer representação de um problema dentro de sua forma padrão (DI SIERVO, 2017; PASSOS, 2009). Logo, a popularização da Programação Linear permitiu sua aplicabilidade nos mais diversos setores, tais como: análise econômica, alocação de insumos na indústria, problemas de mistura, emissão de poluentes e problemas de transporte (HILLIER; LIEBERMAN, 2006; VANDERBEI, 2020).

2.3.1 Problema de transporte

Um problema de transporte se refere a uma classe de problemas de programação linear que envolve a distribuição de qualquer insumo pertencente a qualquer grupo de centros de fornecimento, chamado de origens, a qualquer grupo de centros de recepção, denominados destinos, de modo a minimizar o custo total de distribuição (HILLIER; LIEBERMAN, 2006; VANDERBEI, 2020; DANTZIG, 1990). No caso de um problema de transporte desequilibrado, a disponibilidade total não é igual

à demanda total, portanto, algumas das restrições de origem e/ou destino são satisfeitas como desigualdades (KHURANA, 2015).

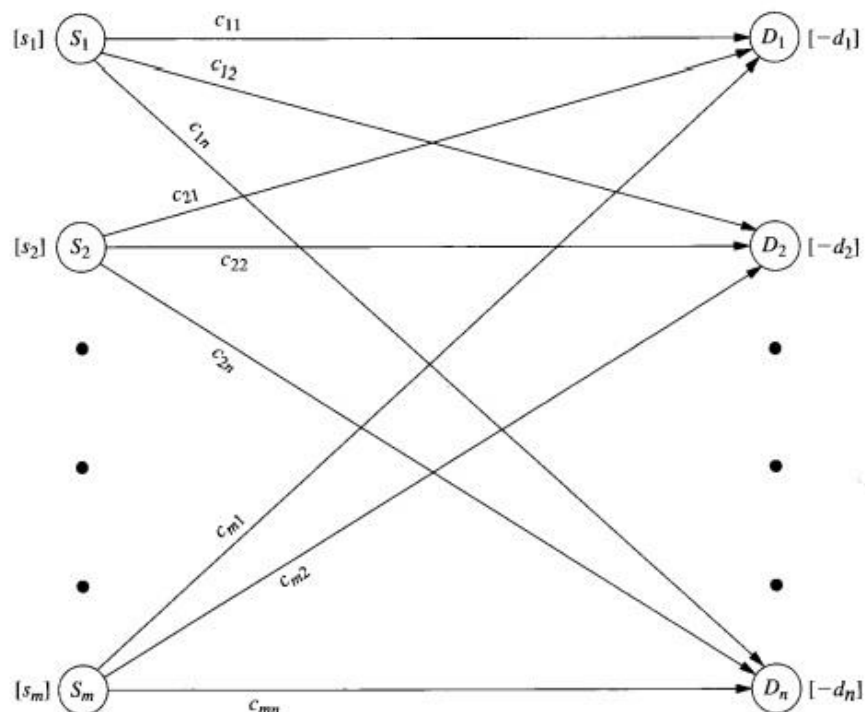


Figura 11 – Problema de transporte
Fonte: Hillier & Lieberman (2006)

O valor a ser enviado de cada origem, o montante a receber em cada destino e o custo por unidade expedida de qualquer origem para qualquer destino são especificados e o transbordo não é considerado. Portanto cada ponto atua apenas como origem ou apenas como destino (KHURANA, 2015). A figura 11 ilustra o modelo clássico do problema de transporte, onde $S_1 \dots S_m$ são as origens e $D_1 \dots D_n$ são os destinos.

Fazendo que Z seja o custo total de distribuição e x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) seja o número de unidades a serem distribuídas da origem i para o destino j , a formulação em programação linear desse problema é exposta assim:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (8)$$

sujeito a

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq s_i, \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, m. \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq d_j, \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n. \quad (10)$$

$$x_{ij} \geq 0, \text{ para todo } i \text{ e } j \quad (11)$$

No geral, o modelo matemático para um problema de transporte faz as seguintes suposições sobre ofertas e demandas (HILLIER; LIEBERMAN, 2006):

- Hipótese das exigências

Cada origem tem uma oferta fixa, em que toda essa oferta tem de ser distribuída aos destinos. De forma similar, cada destino tem uma demanda fixa, nas quais toda essa demanda deve ser recebida das origens.

- Hipótese das soluções viáveis

A soma da oferta deve ser igual a soma da demanda. Caso não ocorra, devem ser criadas variáveis artificiais que representem armazéns "fantasmas" que transportem a carga a custo zero. Em alguns problemas reais, as ofertas e demandas representam quantidades máximas a serem distribuídas e recebidas.

- Hipótese dos custos

O custo de distribuição de unidades é diretamente proporcional ao número de unidades distribuídas.

2.3.2 Problema do transbordo

O problema de transbordo é um subtipo do problema de transporte e é caracterizado pela possibilidade de que as remessas possam passar por qualquer sequência de pontos, em vez de restringir-se a conexões diretas de uma origem a um destino (KHURANA, 2015; VANDERBEI, 2020). No caso do transporte da soja, os pontos intermediários geralmente são considerados como terminais de transbordo (CAIXETA-FILHO, 2001).

Desse modo, o transbordo é considerado quando unidades podem ser enviadas primeiro à pontos intermediários, como centros de distribuição, que podem ou não atuar como estoque, e depois ao destino final com um custo menor do que o envio direto. O principal objetivo do problema de transbordo é determinar quantas unidades devem ser transportadas em cada arco da rede, para que todas as demandas de destino sejam atendidas com o menor custo possível de transporte (ACHIAA, 2011).

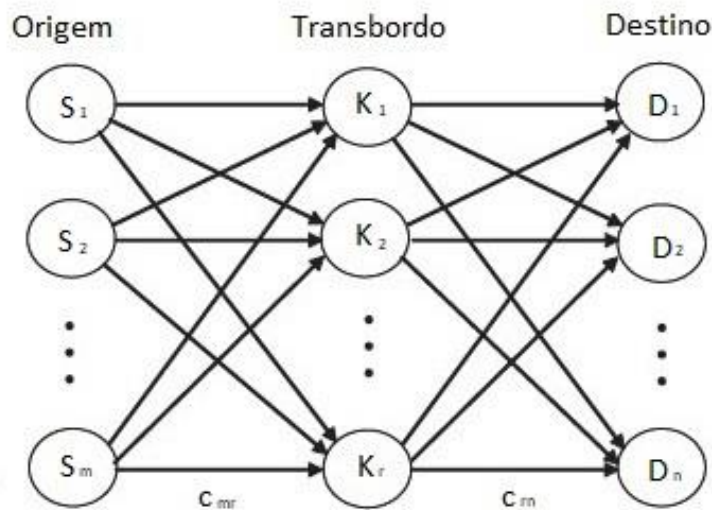


Figura 12 – Problema de transbordo
Fonte: Adaptado de Belfiore & Fávero (2013)

Portanto, o objetivo é minimizar o custo total de transporte entre uma origem i e um ponto de destino j , passando por uma instalação intermediária k e designando as quantidades transportadas entre esses pontos. A figura 12 caracteriza o problema de transbordo.

A restrição (13) assegura que a origem i despacha toda a sua oferta. Já a restrição (14) assegura que a demanda do destino j seja satisfeita e a restrição (15) determina o equilíbrio entre toda a quantidade que chega ao ponto de transbordo k (+) e a quantidade que sai (-). O problema do transbordo também obedece às hipóteses do problema do transporte, acrescentando apenas a relação de equilíbrio dos terminais de transbordo (HILLIER; LIEBERMAN, 2006; VANDERBEI, 2020).

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij,k} x_{ij,k} \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq s_i, \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, m. \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq d_i, \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n. \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} = \sum_{j=1}^n x_{kj}, \quad \text{para } k = 1, 2, \dots, r. \quad (15)$$

$$x_{ij} \geq 0, \text{ para todo } i \text{ e } j \quad (16)$$

2.4 INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES E CRESCIMENTO ECONÔMICO

Hoje sabe-se que o sistema de transporte é um fator chave na estratégia de desenvolvimento de um país (BANISTER, 2000). Como parte do capital fixo, contribui favoravelmente, juntamente com a estabilidade macroeconômica, a abertura e a qualidade das instituições, para determinar o clima de investimento (STERN, 2002). Isso é importante para atrair investimentos continuamente e promover o crescimento econômico que, em certas circunstâncias, pode determinar um maior Produto Interno Bruto (PIB) per capita e, esperançosamente, uma distribuição mais igualitária do PIB entre a população, daí um desenvolvimento social e econômico real.

Especialmente para os países em desenvolvimento, os sistemas de transporte estão de fato entre os principais determinantes de sua economia em crescimento. Na verdade, a fluidez dos fluxos de transporte e a lucratividade estão intimamente interligadas. Essa fluidez depende muito de vários fatores, como eficiência de carregamento, descarregamento e transbordos executados em terminais multimodais e confiabilidade dos veículos. Além disso, a infraestrutura logística contemporânea também facilita a redistribuição espacial das atividades econômicas e fornece grandes conjuntos de dados para melhorar as operações logísticas em tempo real (SAIDI et al., 2020).

A infraestrutura logística leva ao crescimento econômico por meio dos seguintes mecanismos. Primeiro, o investimento em infraestrutura aumenta a demanda por bens e serviços. Em segundo lugar, a melhoria da infraestrutura logística reduz o tempo de viagem e os transportadores de passageiros e carga ganham diretamente com a economia de tempo e custos (GUNASEKERA, 2008). A economia

de tempo traz consequências econômicas à medida que os produtores ganham acesso a mercados distantes, obtêm insumos de uma área maior e estimulam a produção local. Além disso, o investimento em infraestrutura pode gerar benefícios, reduzindo os estoques das empresas (SHIRLEY; WINSTON, 2004). Terceiro, uma infraestrutura melhor atrai o investimento estrangeiro direto (HONG, 2007). Por último, um menor custo de transporte e comercialização pode acelerar o cluster industrial (BALDWIN; FORSLID, 2000; KRUGMAN, 1991), e a concentração das atividades econômicas aumenta a produtividade do trabalho (CICCONE; HALL, 1996).

Numerosos estudos empíricos documentaram uma relação positiva entre infraestrutura e crescimento econômico. Khadaroo e Seetanah (2010) examinaram a relação entre infraestrutura de transporte e crescimento econômico para Maurício de 1950 a 2000 e descobriram que o desenvolvimento de infraestrutura aumenta a acessibilidade e reduz custos. Lean et al. (2014) avaliaram a relação entre logística e economia na China de 1980 a 2009 e confirmaram que a relação entre infraestrutura logística e crescimento econômico é positiva e bidirecional no longo prazo. Yamaguchi (2007) descobriu que houve ganhos de produtividade significativos com melhorias na acessibilidade do transporte aéreo, particularmente em áreas aglomeradas como a região metropolitana de Tóquio.

Fernald (1999) relatou uma relação de causalidade de mudanças no estoque de rodovias para mudanças na produtividade nas indústrias dos Estados Unidos de 1953 a 1989. Groote et al. (1999) mostraram que a infraestrutura de transporte causou crescimento econômico na Holanda. Roller e Waverman (2001) encontraram uma relação positiva entre infraestrutura de telecomunicações e produção agregada em 21 países da OCDE.

Hoje, segundo Saidi et al. (2020), para as empresas multinacionais, um sistema de transporte inteligente é fundamental para desenvolver suas funções logísticas e facilitar os investimentos no exterior. Vários estudos, hoje, têm confirmado o grande valor econômico da logística. Eles argumentam que a própria logística está se tornando uma nova indústria que tem grande participação no desenvolvimento econômico das nações. No contexto da globalização e do aumento da concorrência entre os países, as importações e exportações sem uma infraestrutura logística sólida representam um novo desafio econômico. Além disso, para países com vantagem geográfica, como o Brasil, a logística é um importante elemento de competitividade.

2.4.1 Investimentos em obras de infraestrutura no Brasil

No Brasil, a hipótese de que o gasto público com infraestrutura promove o crescimento econômico foi inicialmente testada por (FERREIRA, 1996). Os resultados mostraram uma relação forte e positiva entre os gastos públicos com a atividade econômica em infraestrutura nos setores analisados e o produto de longo prazo da economia brasileira. Rigolon (1998) argumenta que os investimentos em infraestrutura são responsáveis por expandir tanto a quantidade quanto a qualidade da oferta de energia, transporte, telecomunicações e saneamento básico, aumentando a produtividade dos fatores produtivos privados e reduzindo os custos por unidade de insumo utilizado, impulsionando, assim, economicamente. crescimento.

Silva e Fortunato (2007) usaram informações desagregadas sobre gastos públicos em infraestrutura para avaliar seu impacto na taxa de crescimento de longo prazo dos estados brasileiros. Os autores trabalham com dados dos setores de transporte, energia e telecomunicações entre 1985 e 1998. As estimativas mostram que existe uma relação positiva e estatisticamente significativa entre o gasto público em infraestrutura econômica e o crescimento do país. Em média, um aumento de 1% nessas despesas implica em uma taxa de crescimento 0,09% maior.

Segundo Ferreira e Malliagos (1998) um aumento de 10% no investimento em infraestrutura causaria uma expansão de 3,9% no PIB do país. Ao dividir os investimentos em infraestrutura por setores e repetir as estimativas, os autores mostraram que a elasticidade-renda do setor de infraestrutura de transporte é maior do que a do setor elétrico, que por sua vez é maior do que a elasticidade do setor de telecomunicações. Assim, os investimentos realizados no setor de transportes têm maior influência na taxa de crescimento do PIB do que os demais setores analisados.

Bertussi e Ellery Júnior (2012) investigaram a relação entre o gasto público em transporte e a taxa de crescimento dos estados brasileiros no período entre 1986 e 2007. Os resultados obtidos pelas estimativas de efeito fixo mostraram que o investimento público no setor de transporte provoca um efeito positivo e efeito estatisticamente significativo sobre o desempenho econômico dos estados brasileiros e potencialmente contribui para a redução da desigualdade de renda entre eles. O gasto público com infraestrutura de transporte é mais produtivo nas regiões menos desenvolvidas do país (regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste), em comparação com as regiões mais desenvolvidas (Sul e Sudeste). Isso significa que o mesmo montante

de gasto público tem um impacto diferente dependendo da região do país em que é aplicado.

As economias de mercado emergentes de rápido crescimento tendem a gastar entre 5% e 7% de seu PIB em infraestrutura. Nas últimas duas décadas, o Brasil gastou menos de 2,5% do PIB. Nesse nível, o investimento brasileiro em infraestrutura mal cobre os custos de depreciação, estimados em torno de 2,03% do PIB ao ano (Raiser et al., 2017), conforme a figura 13.

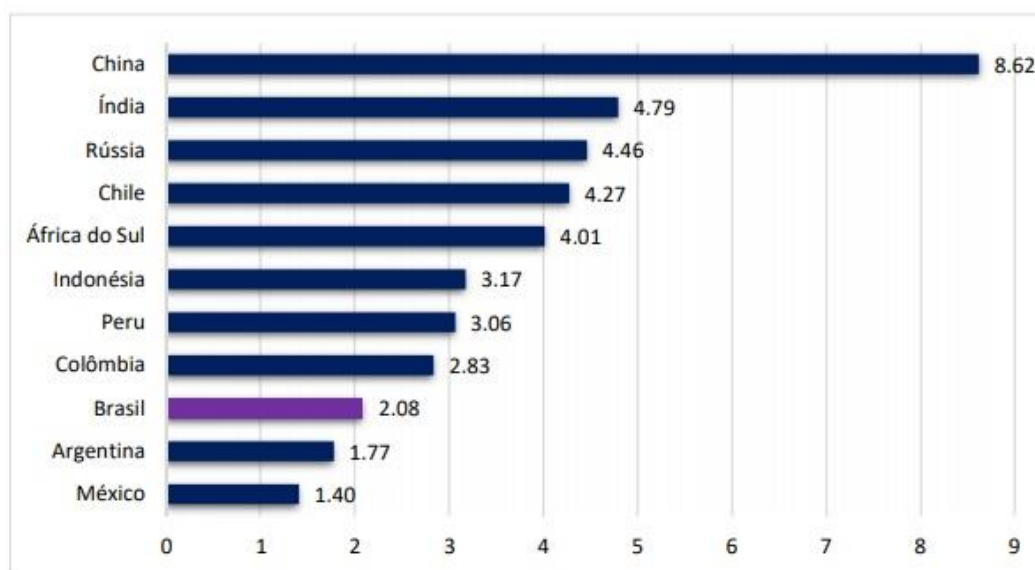


Figura 13 - Despesas com infraestrutura por percentual do PIB (2000-2013)
Fonte: Banco Mundial (2017)

Em outros países da região, o investimento privado compensou a queda do investimento público. No Chile, por exemplo, o investimento privado mais do que compensou a redução do investimento público, resultando em um aumento no índice de investimento em infraestrutura de 3,1% do PIB na década de 1980 para 5,25% entre 2000 e 2006. Mesmo após o período de privatizações no Brasil, que ocorreu na década de 1990, a maior parte dos investimentos foi destinada aos setores de energia e telecomunicações. No setor de transportes, o investimento privado tem sido menor e concentrado em ferrovias e portos (RAISER et al., 2017).

Entre os principais financiadores estão bancos públicos, como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), a Caixa Econômica Federal (CEF) e o Banco do Brasil (BB). Em 2014, 67,9% de todos os recursos investidos em infraestrutura vieram de capitais públicos. A contribuição do setor

privado brasileiro para o financiamento da infraestrutura é significativamente menor do que a de seus pares. No Reino Unido, por exemplo, a participação do financiamento público para obras de infraestrutura é de 20% a 25% e, na Índia, de 50% a 55% (RAISER et al., 2017).

Segundo Miyabukuro (2014) e Moreira (2000), no Brasil, a avaliação econômica de projetos, tal qual a teoria econômica define e como os manuais técnicos recomendam, não é utilizada na prática ou o é de maneira muito simplificada. Não é informado como se distribuem os custos e benefícios do projeto entre as empresas, governo e a população. Além disso, também não há evidência de uso de metodologias específicas para a escolha dos projetos, como Análise custo-benefício (ACB), Análise custo-efetividade (ACE) ou Análise multicritério (AMC). A justificativa apontada se dá pela falta de recursos técnicos e, principalmente, base de informações necessárias, carências muito comuns em governos de países em desenvolvimento (MOREIRA, 2000).

De modo geral, a avaliação econômica de projetos consiste na mensuração dos custos e benefícios econômicos de um projeto, do ponto de vista do país como um todo (ADLER, 1978). Logo, existem diferentes vertentes de abordagem cuja diferenciação ocorre, principalmente, em função das metodologias de mensuração dos benefícios. Dentre as diversas metodologias existentes, a análise custo efetividade (ACE) apresenta-se como um bom mecanismo de avaliação de investimentos, pois considera não apenas os benefícios econômicos, mas também os ganhos sociais e ambientais.

É notória a importância dos investimentos em transportes modais, especialmente os mais sustentáveis, como hidrovias e ferrovias. Conforme demonstrado em diversos estudos, os investimentos em infraestrutura estão atrelados ao desenvolvimento econômico e, portanto, ao combinar os benefícios intrínsecos com as melhorias que os investimentos podem trazer à população, com o ganho econômico proporcionado pela otimização do fluxo produtivo, principalmente da soja, Brasil é capaz de se firmar como referência em termos de eficiência logística e econômica nos próximos anos.

2.4.2 Análise de custo efetividade (ACE)

De acordo com Branco (2008) a análise de custo efetividade propõe a comparação entre custos de projetos a fim de se atingir determinados objetivos. Tendo em vista essa perspectiva, Lang (2007) afirma que a ACE considera as diversas opções disponíveis para que um objetivo predefinido seja alcançado, além disso, compara os seus custos relativos para atingir os mesmos. Portanto, é possível a identificação da opção que assegura o melhor resultado. (MOTTA, 1990; MIYABUKURO, 2014).

Na pesquisa de Lang (2007) a mesma argumenta que a análise custo efetividade é capaz de complementar a análise custo benefício, visto que compara os custos e os benefícios de um determinado projeto, no entanto, os benefícios não são expressos em unidades monetárias, e sim em unidades de resultado, o que resulta na eliminação da restrição desta metodologia, permitindo então a agregação de variáveis de difícil mensuração monetária, como por exemplo as externalidades (MIYABUKURO, 2014).

Para Vianna (2010) a ACE é uma razão em que o denominador reflete o ganho de uma intervenção específica e o numerador reflete o custo monetário para que se alcance o objetivo. Levin (1995) diz ainda que a escolha da alternativa com menor custo para um determinado resultado permite que a sociedade possa usar os recursos de forma mais eficaz.

A ACE pode ser realizada *ex ante*, quando os resultados auxiliam os tomadores de decisão a escolher a opção que reflete o melhor resultado a ser alcançado comparado aos custos das alternativas disponíveis. Além disso, existe a possibilidade de aplicar a metodologia ACE *ex post*, pois os custos passados e os resultados alcançados são comparados de modo a avaliar o custo efetividade do projeto, além de subsidiar possíveis adequações aos objetivos propostos (BRANCO, 2008).

Uma das vantagens da ACE em relação à ACB é que os benefícios podem não ser monetários, tornando a comparação entre duas alternativas mais fáceis de ser concluída, e com isso, eliminar problemas que possam vir a aparecer em decorrência da comparação de duas intervenções que requerem investimentos bastante distintos em magnitude (OLIVEIRA, 2010; MAEDA, 2017).

Em relação as desvantagens do método, Oliveira (2010) cita a possibilidade de haver outra variável, além das que foram consideradas na análise, de maior razão

custo-efetividade, porém, ressalta que esta desvantagem não é exclusiva da ACE, também estando presente na ACB. Em alguns casos, fatores socioambientais importantes não incluídos na análise podem ter um impacto significativo no resultado final do modelo (BRANCO, 2008; MAEDA, 2017).

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) é possível fazer uma extrapolação da análise ambiental para projetos de infraestrutura, logo, pode-se afirmar que a ACE é apropriada principalmente quando se deseja comparar alternativas de programas que têm o mesmo objetivo operacional, a fim de se obter a melhor performance em relação aos recursos gastos (LEVIN, 1995).

Para Lang (2007) a ACE também pode ser empregada para comparar diferentes projetos de infraestrutura que abordam o mesmo problema de maneira diferente. Assim sendo, o custo-efetividade de um projeto de infraestrutura pode ser expresso por: unidade de um padrão conseguido por unidade monetária gasta; por unidade do padrão conseguido em diferentes cenários com custos iguais; por custo por unidade desse indicador conseguido. É válido destacar que o padrão analisado se refere ao critério utilizado para medir a efetividade, como por exemplo, emissão de gases do efeito estufa, desgaste do pavimento e produtividade.

É possível afirmar de acordo com a bibliografia existente que a ACE é pouco aplicada na prática. Tal fato decorre, principalmente, pela falta de treinamento no desenvolvimento e uso desta ferramenta. No Brasil, poucos estudos que utilizam a análise custo-efetividade foram encontrados, e os mesmos se referem principalmente a estudos ambientais e na área da saúde. A busca bibliográfica em língua inglesa verificou a aplicação da ACE em estudos de caso, porém, feita de maneira superficial (LANG, 2007).

Entre as aplicações da ACE encontradas na área de infraestrutura, cita-se o estudo desenvolvido por Lang (2007) que utilizou a respectiva metodologia na avaliação de projetos ferroviários no Brasil. Tal método mostrou-se adequado para avaliação de projetos de infraestrutura, principalmente quando os mesmos necessitam de recursos da União e encontram-se em situação de escassez.

Outra utilização da análise custo efetividade foi aplicada por Maeda (2017), que avaliou a infraestrutura de transporte rodoviário a partir de um estudo de caso, passagens de fauna inferiores. A conclusão é que a ACE é uma ferramenta que pode ser aplicada à análise das alternativas medidas de mitigação das externalidades ambientais negativas implantadas em rodovias brasileiras auxiliando na avaliação das

medidas que possam apresentar menor custo de implantação e resultem em minimização dos danos ao meio ambiente.

De acordo com Miyabukuro (2014) a análise econômica através da ACE possibilita à gestão pública uma formulação de políticas mais eficiente, que avaliem projetos além do aspecto econômico, quando combinada com outros métodos como ACB. Para tanto, aplicou a metodologia no estudo piloto da concessão da BR-163, no estado do Mato Grosso. Os resultados obtidos demonstraram que a metodologia utilizada pode servir de apoio à tomada de decisão de maneira mais rápida e direta, notadamente do governo e do ente privado.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 O ESTADO DO MATO GROSSO

O Estado do Mato Grosso está situado na região Centro-Oeste brasileira, possuindo a terceira maior área territorial do Brasil, com 903.206,997 km² e 3.484.466 habitantes, possuindo uma densidade demográfica de 3,36 hab/km² (IBGE, 2020). A economia do estado é composta majoritariamente pelo agronegócio, sendo o PIB do mesmo correspondente a 50,5% do PIB estadual (IMEA 2014). Tendo em vista a importância econômica da soja para o estado, observa-se que o Valor Bruto da Produção (VPB) do Mato Grosso cresceu 407,47% nos últimos 10 anos, sendo a soja responsável por 43,9% desse VPB no ano de 2020, segundo estimativas do (IMEA, 2019).

De acordo com o IBGE existem 141 municípios em Mato Grosso, agrupados em cinco mesorregiões. O estado apresenta uma distribuição produtiva heterogênea da soja, sendo a maior concentração de municípios produtores nas regiões Centro-Norte do estado, já a região Centro Sul e Sudoeste apresentam baixa produção, voltando suas agriculturas para outros tipos de produtos. Neste trabalho os centroides foram definidos de acordo com a Produção Agrícola Municipal 2018 do IBGE e os valores futuros projetados com base na pesquisa realizada pelo MAPA (2019), conforme a tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Produção agrícola municipal do Mato Grosso 2018/2030 – IBGE/MAPA

Mesorregião	Centroide	Produção		
		2018	2025	2030
Norte	Brasnorte	1.441.854	1.872.808	2.097.785
	Campo Novo dos Parecis	6.736.102	8.749.446	9.800.505
	Sorriso	7.810.388	10.144.824	11.362.507
	Sinop	4.053.449	5.264.979	5.897.453
Nordeste	Querência	5.961.441	7.743.248	8.673.433
Sudoeste-Centro-Sul	Tangará da Serra	1.149.866	1.493.548	1.672.966
Sudeste	Primavera do Leste	2.382.233	3.094.250	3.465.958
	Itiquira	2.073.233	2.692.899	3.016.393
TOTAL		31.608.562	41.056.000	45.988.000

Fonte: IBGE (2019) & MAPA (2019)

Para normatizar a análise, em algumas regiões foram definidos mais de um centroide produtor para não haver grandes discrepâncias entre as produções municipais, já em outras regiões que concentram menores produções, os centroides

foram agrupados, conforme a figura 14. A soma das produções dos centroides corresponde à produção total do Mato Grosso e as projeções de oferta foram realizadas de acordo com a percentagem correspondente de cada município no ano de 2018, e seu respectivo crescimento linear na mesma taxa do Estado do Mato Grosso (MAPA, 2019).

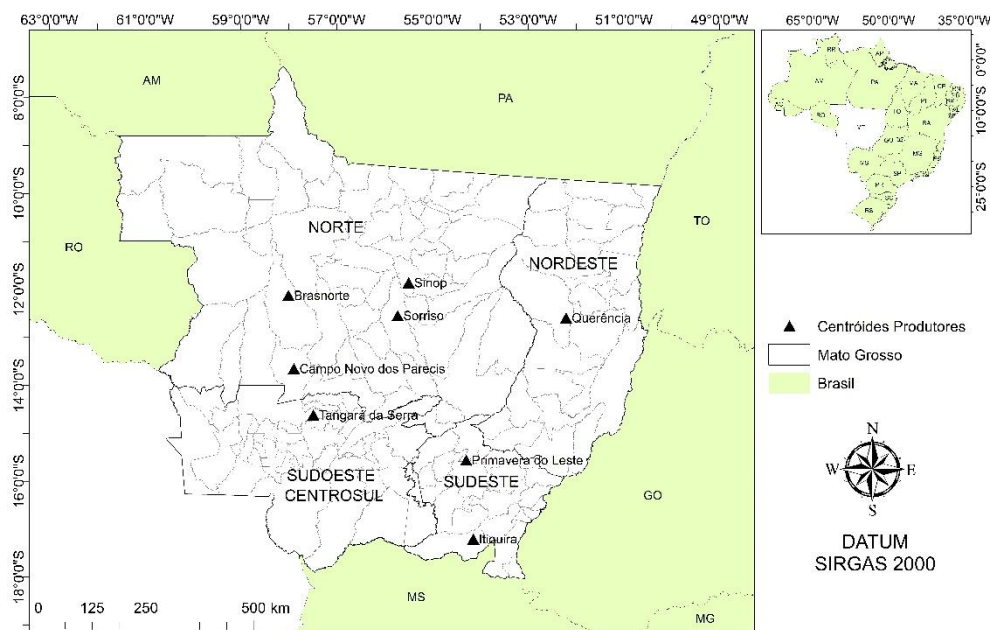


Figura 14 – Localização dos centroides produtores no Mato Grosso
Fonte: Autor (2021)

É importante ressaltar que embora a cadeia produtiva da soja também englobe a produção de óleo de soja, etanol, farelo de soja e biodiesel, conforme citado no capítulo de referencial bibliográfico, no presente estudo optou-se por focar exclusivamente na exportação da soja *in natura*, visto que, comparado ao volume total exportado, o de seus derivados é substancialmente menor.

3.2 ROTAS DE ESCOAMENTO

3.2.1 Rotas rodoviárias

Atualmente, aproximadamente 368000 km de rodovias são utilizadas para o escoamento da soja do Mato Grosso, cerca de 18% da malha brasileira (DNIT, 2020). Tendo em vista a importância do agronegócio nas estradas brasileiras, foram classificadas as condições destas rotas, levando em consideração três principais

aspectos: Pavimentação, Sinalização e Geometria da via. Os resultados são oriundos na Pesquisa CNT de rodovias CNT (2019), que por sua vez baseou-se em normas criadas pelo DNIT e estão expressos na figura 15.

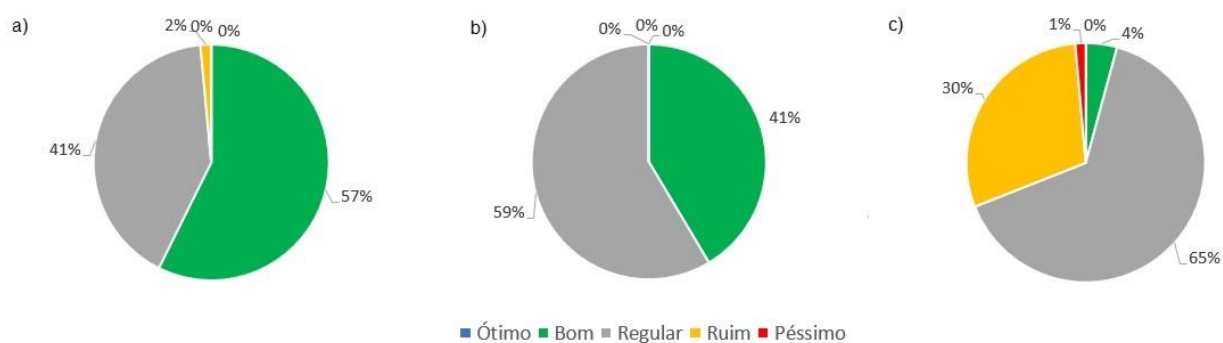


Figura 15 – Classificação das rotas rodoviárias – a) Pavimentação, b) Sinalização e c) Geometria da via

Fonte: Adaptado de CNT (2019)

É possível observar que 57% e 41% das rodovias utilizadas na rota de escoamento apresentaram boas condições de pavimentação e sinalização, isso se deve principalmente pelas rotas com destino aos portos do sul e sudeste, visto que é onde se localiza a maior parte das rodovias concedidas à iniciativa privada, e portanto, possuem melhores condições referentes a estes dois aspectos. Em relação à geometria da via, 65% das rodovias foram classificadas como regular, isso se deve ao fato de que grande parte das rotas, principalmente em relação aos portos de Santos e Paranaguá apresentarem condições de relevo montanhosas, e portanto, adversidades no que tange a trafegabilidade e segurança operacional.

Em relação ao Estado do Mato Grosso, é possível observar na figura 16 que as rodovias federais são mais utilizadas para o escoamento da soja, visto que as mesmas já são corredores logísticos estabelecidos e conectam o estado do Mato Grosso com os estados vizinhos. Além disso, nos últimos dez anos foram assinados 7 contratos de concessões (AGER, 2021), e tendo em vista a melhoria contínua das condições rodoviárias do Mato Grosso, é razoável supor que haja aumento desse tipo de gestão, acarretando resultados de melhoria da trafegabilidade em decorrência de maiores investimentos nas rodovias, e por consequência, menor custo de transporte.

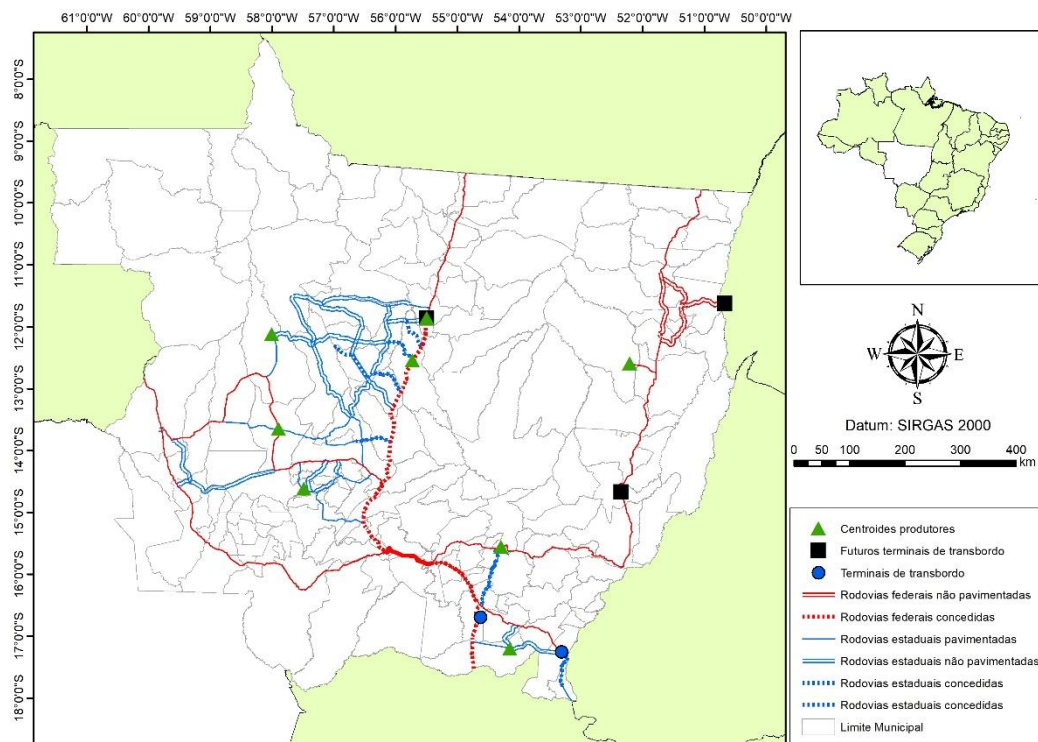


Figura 16 – Classificação das rodovias do estado do Mato Grosso
Fonte: Autor (2021)

A tabela 3 abaixo demonstra a extensão da malha de escoamento das rotas, cerca de 6400 km de rodovias. Desse total, cerca de 68% corresponde à rodovias federais. Além disso, percebe-se que 15% da malha é constituída de rodovias não pavimentadas, fato este que corrobora para o aumento do custo de transporte, desgaste do pavimento, acidentes e consumo energético.

Tabela 3 – Classificação das rotas rodoviárias do estado do Mato Grosso

Gestão	Extensão (km)	%
Rodovia federal pavimentada	3198,1	50,07
Rodovia federal não pavimentada	215,6	3,37
Rodovia federal concedida	904,0	14,15
Rodovia estadual pavimentada	802,1	12,55
Rodovia estadual não pavimentada	787,3	12,32
Rodovia estadual concedida	388,4	6,08
TOTAL	6386,5	100,00

Fonte: SNV (2021)

Já figura 17, com dados do Sistema Nacional de Viação (SNV), ilustra que mais da metade das rodovias mato-grossenses apresentam condições regulares de pavimentação (52,2%), além disso, cerca de 51,1% apresentam boas condições de sinalização e em aproximadamente 29% das rodovias a geometria das mesmas foi considerada péssima (CNT, 2019; DNIT, 2021).

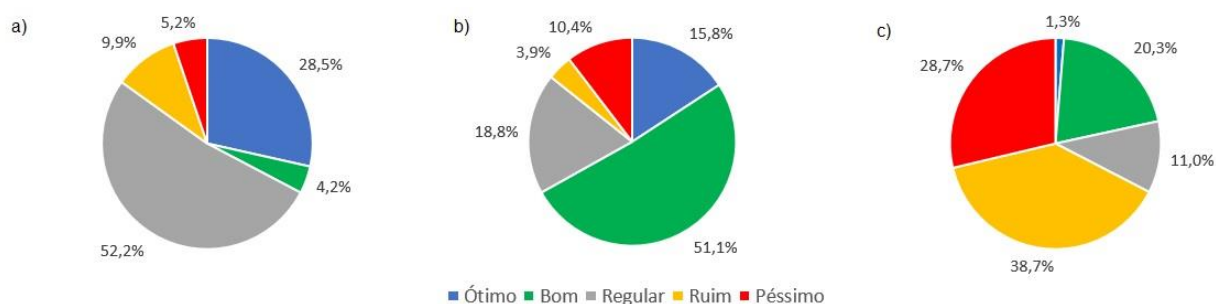


Figura 17 – Classificação das rodovias do estado do Mato Grosso – a) Pavimentação, b) Sinalização e c) Geometria da via
Fonte: Adaptado de CNT (2019) & SNV (2021)

3.2.2 Rotas intermodais

As rotas de escoamento da soja do Mato Grosso através do transporte ferroviário compreendem 8 concessões ferroviárias que totalizam 6502,7 km, cerca de 22,3% da malha ferroviária brasileira (MTPA, 2017 *apud* BRASIL, 2016). Atualmente, a maior malha operante é a RUMO-MS (Malha Sul), com cerca de 1320 km. Quando a Ferrogrão entrar em operação, terá a segunda maior malha, com aproximadamente 940 km, cerca de 14,45% do total. Tais rotas ferroviárias estão classificadas segundo a tabela 4 abaixo:

Tabela 4 – Classificação das rotas ferroviárias

Estado	Ferrovia			
	Nome	Extensão (km)	%	Bitola
MT/MS	RUMO-MN	733,0	11,27	Larga
SP	RUMO-MP	804,7	12,37	Larga
PR/RS	RUMO-MS	1320,8	20,31	Larga
SP	MRS	125,2	1,93	Mista
TO/MA	FNS-TN	729,5	11,22	Larga
MG/ES	EFVM	615,5	9,47	Mista
MG	FCA	713,4	10,97	Larga
PA/MA	EFC	521,6	8,02	Larga
MT/PA	FERROGRÃO	939,9	14,45	Larga
TOTAL		6502,7	100,00	

Fonte: Adaptado de MTPA (2016) & MINFRA (2021)

É possível notar que apesar da grande modernização das ferrovias brasileiras nos últimos 25 anos, em decorrência das privatizações, não houve ênfase na expansão da rede após este período (CNT, 2013; POMPERMAYER et al., 2012; OLIVEIRA, 2005}. Além disso, a não conformidade entre as bitolas, distância entre os trilhos, dificulta ainda mais a integração modal (FIGUEIREDO; PEREIRA, 2009).

Já em relação ao transporte hidroviário, as principais rotas de escoamento da soja mato-grossense compreendem 3782,96 km, correspondente a aproximadamente 20% da malha hidroviária nacional (MTPA, 2017; ANTAQ, 2013) e estão dispostas na tabela 5 abaixo:

Tabela 5 – Classificação das rotas hidroviárias

Estado	Hidrovia		
	Nome	Extensão (km)	%
GO/MS/SP	Tietê-Paraná	752,8	9,69
PA	Tapajós	469,48	6,04
AM/PA/AP	Amazonas	1272,98	16,39
RO/AM	Madeira	1007,7	12,97
MT/TO/PA	Araguaia-Tocantins	4263,48	54,89
TOTAL		7766,44	100,00

Fonte: Adaptado de ANTAQ (2021) & MINFRA (2021)

Nota-se que as hidrovias em questão se encontram majoritariamente na região Norte, com exceção da Hidrovia Tietê-Paraná, e apesar das características físicas dos rios, tal região carece de investimentos em infraestrutura, principalmente no que tange à sinalização, obras de dragagem e estrutura portuária (MTPA, 2017; DNIT, 2020).

Em relação aos terminais de transbordo, os mesmos foram escolhidos com base no escoamento produtivo recebendo carga através do modal rodoviário e transferindo-a para o modal hidroviário ou ferroviário. A grande maioria dos terminais pertence às empresas privadas, a exemplo de grandes *tradings* como Bungee, Hidrovias do Brasil, Cargill, e já possuem em seus contratos o transporte do terminal de transbordo até os terminais de uso privativos e de lá até os portos finais nos mercados consumidores. Desse modo, na prática a iniciativa privada exporta a maior parte da soja brasileira, utilizando as instalações dos complexos portuários.

3.3 ANÁLISE DOS CENÁRIOS

Neste trabalho foram considerados três anos na análise, 2018, 2025 e 2030, levando em consideração as respectivas projeções de produção nos municípios e demanda nos portos brasileiros. Nos cenários 2018.1, 2018.2, 2018.3, 2018.4, 2018.5, 2018.6 e 2018.7 os valores de frete rodoviário, frete intermodal e tarifas portuárias permanecem os mesmos no que se refere aos *inputs* da modelagem.

Já nos cenários 2025.1, 2025.2, 2025.3, 2025.4, 2025.5, 2025.6, 2025.7, 2030.1, 2030.2, 2030.3, 2030.4, 2030.5, 2030.6 e 2030.7 os valores de produção e

demanda foram corrigidos levando em consideração as projeções de acordo com MAPA (2017) e os custos baseados em (SILVA NETO, 2018; BRASIL, 2019). A tabela 6 abaixo ilustra os cenários analisados.

Tabela 6 - Análise de cenários proposta

Cenários	Rotas	Capacidade portuária
2018.1	Atuais	Atual
2018.2	Atuais + Ferrogrão	+50% Arco Norte
2018.3	Atuais + Hidrovia	+50% Arco Norte
2018.4	Atuais + Ferrovia + Hidrovia	+50% Arco Norte
2018.5	Atuais + Ferrogrão	+100% Arco Norte
2018.6	Atuais + Hidrovia	+100% Arco Norte
2018.7	Atuais + Ferrogrão + Hidrovia	+100% Arco Norte
2025.1	Atuais	Projetada
2025.2	Atuais + Ferrogrão	+50% Arco Norte
2025.3	Atuais + Hidrovia	+50% Arco Norte
2025.4	Atuais + Ferrovia + Hidrovia	+50% Arco Norte
2025.5	Atuais + Ferrogrão	+100% Arco Norte
2025.6	Atuais + Hidrovia	+100% Arco Norte
2025.7	Atuais + Ferrogrão + Hidrovia	+100% Arco Norte
2030.1	Atuais	Projetada
2030.2	Atuais + Ferrogrão	+50% Arco Norte
2030.3	Atuais + Hidrovia	+50% Arco Norte
2030.4	Atuais + Ferrovia + Hidrovia	+50% Arco Norte
2030.5	Atuais + Ferrogrão	+100% Arco Norte
2030.6	Atuais + Hidrovia	+100% Arco Norte
2030.7	Atuais + Ferrogrão + Hidrovia	+100% Arco Norte

Fonte: Autor (2021)

Para a modelagem, os cenários 2018.1, 2025.1 e 2030.1 representam os cenários base. A figura 18 abaixo ilustra a configuração do escoamento de soja atualmente.

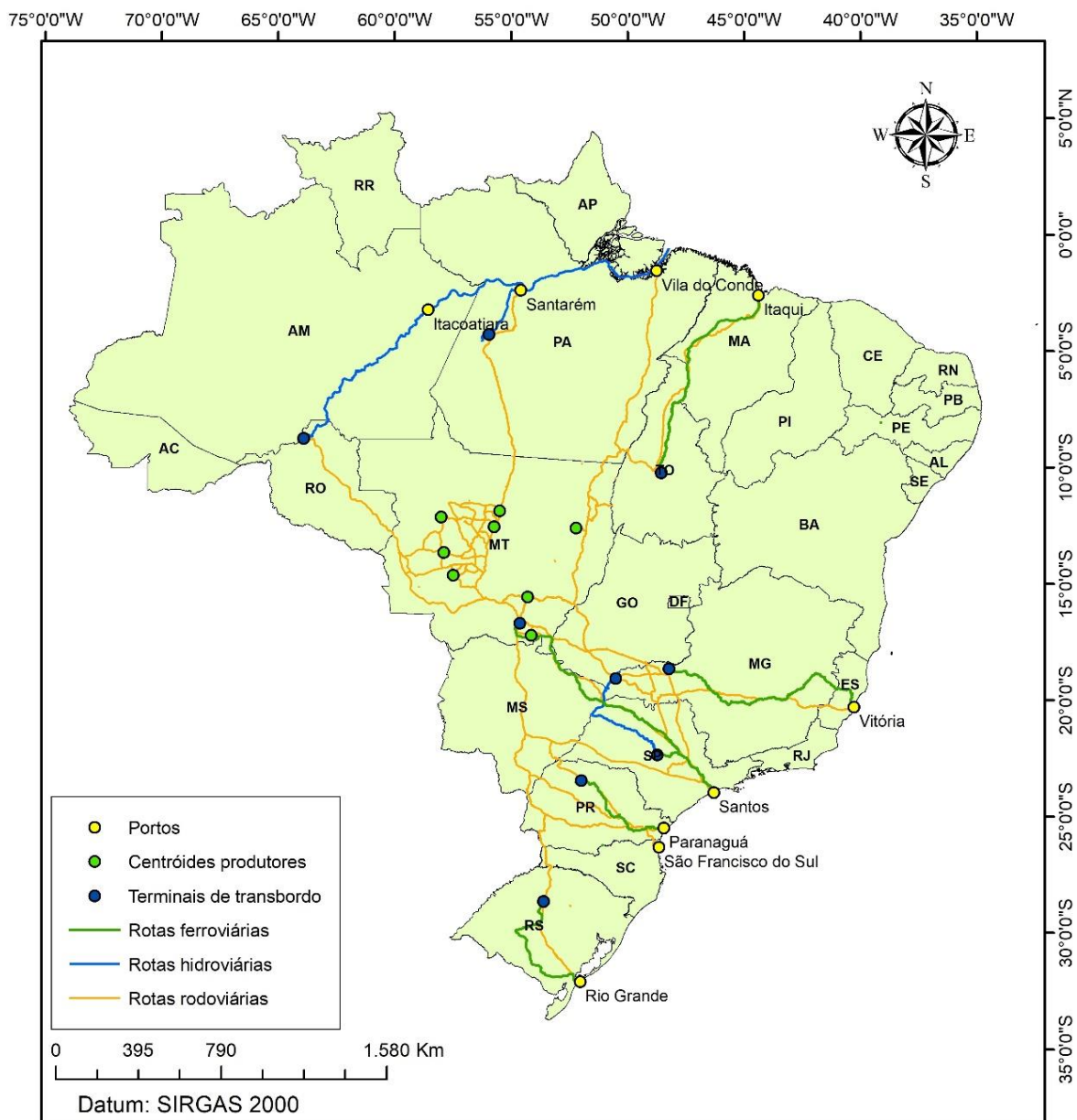


Figura 18 - Rotas atuais de escoamento da soja
Fonte: Autor (2021)

Os cenários 2018.2, 2018.3, 2018.5, 2018.6, 2025.2, 2025.3, 2025.5, 2025.6, 2030.2, 2030.3, 2030.5 e 2030.6 inserem a Ferrogrão e a Hidrovia Araguaia-Tocantins individualmente no escoamento produtivo de modo a analisar o impacto das mesmas aliadas à manutenção das capacidades portuárias em 50% e 100% no Arco Norte no custo da operacional de transporte da soja. Já os cenários 2018.4, 2018.7, 2025.4, 2025.7, 2030.4 e 2030.7 avaliam a inserção das duas rotas simultaneamente, conforme a figura 19.

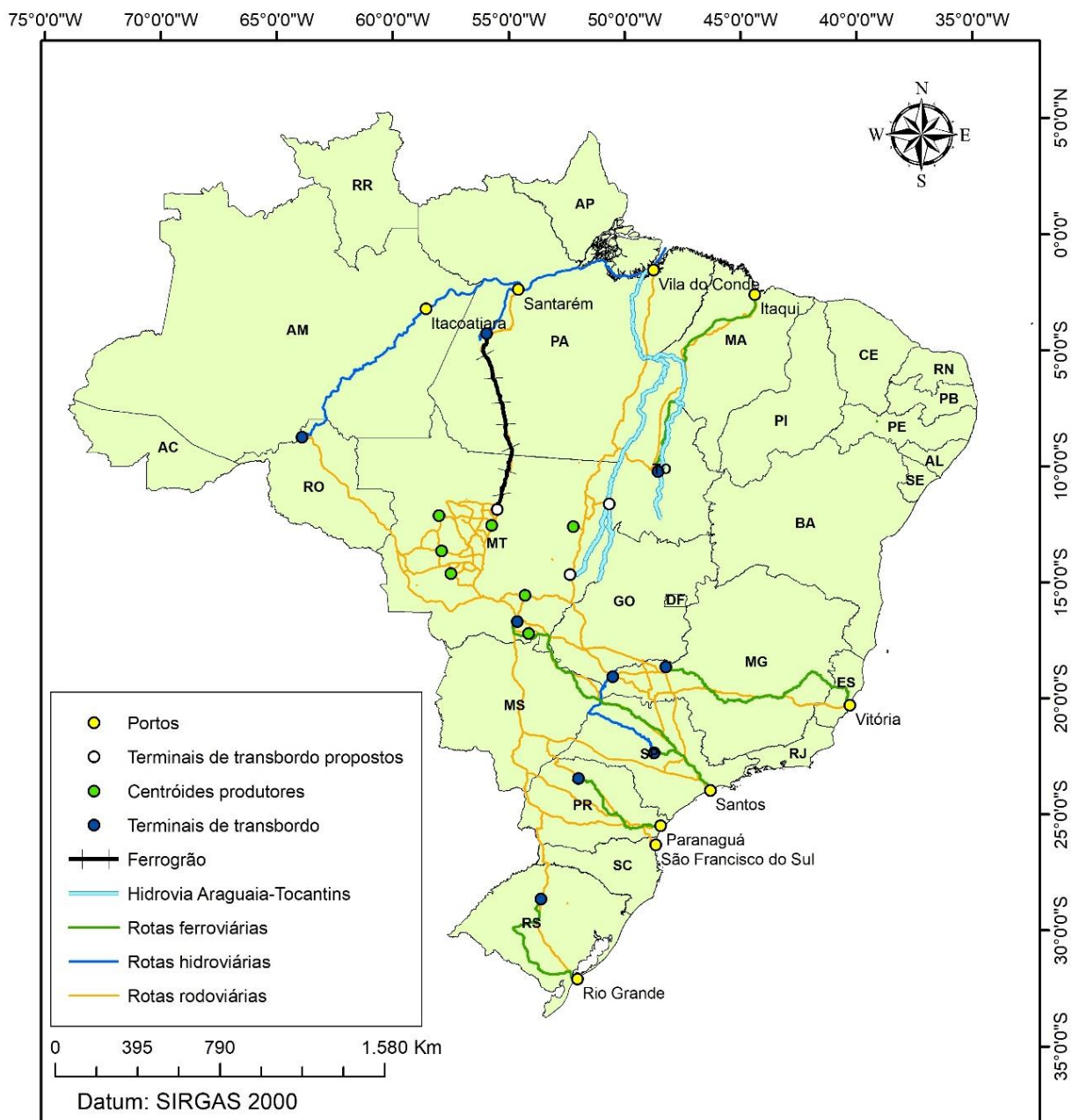


Figura 19 – Inserção da Ferrogrão e Hidrovia Araguaia Tocantins
Fonte: Autor (2021)

4 MATERIAL E MÉTODOS

Na figura 20 observa-se o esquema das etapas metodológicas para a realização do estudo, com destaque em vermelho para a etapa final.

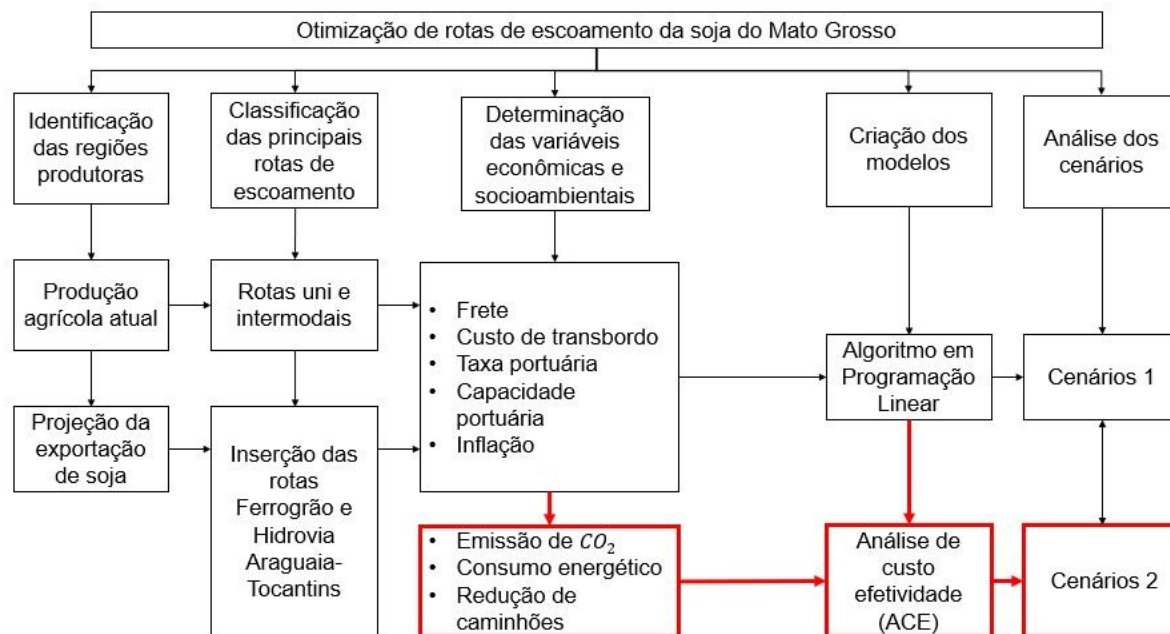


Figura 20 – Esquema metodológico do trabalho
Fonte: Autor (2021)

4.1 INPUTS DO MODELO

Os dados referentes à demanda foram divididos em transporte rodoviário e transporte intermodal, englobando os valores de frete, taxas e capacidades portuárias, visto que a soja pode ser escoada pelo modal rodoviário diretamente aos portos ou utilizando combinação de modais. Além disso, as projeções da inflação estão aqui descritas.

4.1.1 Projeções Macroeconômicas

O cálculo dos valores como taxas portuárias e frete rodoviário e intermodal foi baseado em BRASIL (2019), através do Relatório de Acompanhamento Fiscal (RAF) que detalha a projeção do Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), índice este

importante para a definição da inflação do país. A tabela 7 abaixo demonstra os valores em três cenários: base, otimista e pessimista.

Tabela 7 – Projeções macroeconômicas 2019-2030

RAF – Nov/19	Cenário base			Cenário otimista			Cenário pessimista		
	2018	2020	2023-2030	2018	2020	2023-2030	2018	2020	2023-2030
IPCA (%)	3,7	3,5	3,5	3,1	3,4	3,3	3,3	4,4	5,0

Fonte: Senado Federal – RAF (2019)

O modelo de otimização foi desenvolvido com base no cenário pessimista, visto que atualmente este cenário é o mais próximo à realidade.

4.1.2 Dados rodoviários

Em relação ao frete rodoviário, os valores foram baseados na pesquisa de Silva Neto (2018), que estimou as curvas de fretes por corredores logísticos. A distância entre origem e destino foi obtida através do software Google Maps™. A base de dados consulta foi o Sistema de Informações de Fretes (SIFRECA) e os valores foram corrigidos de acordo com o IPCA (BRASIL, 2019; SIFRECA, 2019). As propostas de rota foram estabelecidas com base em valores de rotas existentes e semelhantes. A tabela 8 abaixo demonstra os fretes por corredor.

Tabela 8 – Fretes por corredor logístico rodoviário

Corredor	Origem	Destino	Distância (km)	Frete (R\$/t.km)
Rodo-Rodo	Brasnorte	Santos (SP)	2186	0,1374
	Campo Novo dos Parecis		2002	0,1401
	Sorriso		2005	0,1400
	Sinop		2090	0,1388
	Querência		1759	0,1444
	Tangará da Serra		1851	0,1427
	Primavera do Leste		1525	0,1499
	Itiquira		1312	0,1567
	Brasnorte	Paranaguá (PR)	2381	0,1324
	Campo Novo dos Parecis		2196	0,1344
	Sorriso		2199	0,1344
	Sinop		2282	0,1334
	Querência		2018	0,1367
	Tangará da Serra		2046	0,1363
Primavera do Leste	Rio Grande (RS)	1708	0,1418	
Itiquira		1558	0,1450	
Brasnorte		2922	0,1274	
	Campo Novo dos Parecis		2737	0,1287

	Sorriso		2740	0,1287
	Sinop		2823	0,1281
	Querência		2891	0,1276
	Tangará da Serra		2587	0,1299
	Primavera do Leste		2260	0,1330
	Itiquira		2099	0,1348
	Brasnorte		2460	0,1315
	Campo Novo dos Parecis		2275	0,1334
	Sorriso	S. F. do Sul (SC)	2279	0,1333
	Sinop		2361	0,1325
	Querência		2097	0,1355
	Tangará da Serra		2125	0,1351
	Primavera do Leste		1799	0,1399
	Itiquira		15897	0,1439
	Brasnorte		2260	0,1315
	Campo Novo dos Parecis		2662	0,1281
	Sorriso	Vila do Conde (PA)	1945	0,1353
	Sinop		1862	0,1364
	Querência		1546	0,1421
	Tangará da Serra		2379	0,1304
	Primavera do Leste		2184	0,1323
	Itiquira		2260	0,1315
	Brasnorte		1673	0,1394
	Campo Novo dos Parecis		1763	0,1378
	Sorriso	Santarém (PA)	1378	0,1460
	Sinop		1295	0,1484
	Querência		1662	0,1396
	Tangará da Serra		1811	0,1371
	Primavera do Leste		1856	0,1364
	Itiquira		2127	0,1328
	Brasnorte		3266	0,1254
	Campo Novo dos Parecis		3081	0,1265
	Sorriso	Itaqui (MA)	2315	0,1324
	Sinop		2233	0,1333
	Querência		1881	0,1379
	Tangará da Serra		2931	0,1274
	Primavera do Leste		2447	0,1311
	Itiquira		2512	0,1305
	Brasnorte		2682	0,1300
	Campo Novo dos Parecis		2498	0,1315
	Sorriso	Vitória (ES)	2501	0,1315
	Sinop		2584	0,1308
	Querência		2218	0,1344
	Tangará da Serra		2348	0,1330
	Primavera do Leste		2031	0,1368
	Itiquira		1808	0,1403
	Brasnorte		1373	0,1291
	Campo Novo dos Parecis		1463	0,1278
Rodo-Hidro	Sorriso	Miritituba (PA)	1078	0,1347
	Sinop		995	0,1369
	Querência		1362	0,1292
	Tangará da Serra		1511	0,1272

	Primavera do Leste		1556	0,1267
	Itiquira		1827	0,1240
	Brasnorte		1094	0,1343
	Campo Novo dos Parecis		1060	0,1351
	Sorriso	Porto Velho (RO)	1447	0,1280
	Sinop		1530	0,1270
	Querência		3268	0,1172
	Tangará da Serra		2361	0,1205
	Primavera do Leste		2849	0,1184
	Itiquira		2972	0,1180
	Brasnorte		1237	0,1313
	Campo Novo dos Parecis		1052	0,1353
	Sorriso	Nova Xavantina (MT)	641	0,1525
	Sinop		723	0,1475
	Querência		315	0,1980
	Tangará da Serra		902	0,1398
	Primavera do Leste		418	0,1760
	Itiquira		495	0,1655
	Brasnorte		1152	0,1330
	Campo Novo dos Parecis		1394	0,1288
	Sorriso	São Félix do Araguaia (MT)	855	0,1415
	Sinop		774	0,1450
	Querência		278	0,2099
	Tangará da Serra		1244	0,1312
	Primavera do Leste		916	0,1393
	Itiquira		993	0,1369
	Brasnorte		820	0,1429
	Campo Novo dos Parecis		635	0,1529
	Sorriso	Rondonópolis (MT)	638	0,1527
	Sinop		721	0,1476
	Querência		680	0,1500
	Tangará da Serra		485	0,1666
	Primavera do Leste		158	0,2869
	Itiquira		122	0,3395
	Brasnorte		1841	0,1239
	Campo Novo dos Parecis		1656	0,1256
	Sorriso	Maringá (PR)	1659	0,1255
	Sinop		1742	0,1247
	Querência		1545	0,1268
	Tangará da Serra		1506	0,1273
	Primavera do Leste		1179	0,1324
	Itiquira		1018	0,1362
	Brasnorte		1622	0,1259
	Campo Novo dos Parecis		1438	0,1281
	Sorriso	Araguari (MG)	1441	0,1281
	Sinop		1524	0,1270
	Querência		1158	0,1329
	Tangará da Serra		1288	0,1304
	Primavera do Leste		971	0,1376
	Itiquira		748	0,1462
	Brasnorte	Cruz Alta (RS)	2444	0,1201

Rodo-Ferro

	Campo Novo dos Parecis		2260	0,1210
	Sorriso		2263	0,1210
	Sinop		2346	0,1206
	Querência		2367	0,1205
	Tangará da Serra		2110	0,1219
	Primavera do Leste		1783	0,1244
	Itiquira		1621	0,1259
	Brasnorte		1569	0,1265
	Campo Novo dos Parecis		1639	0,1257
	Sorriso	Porto Nacional (TO)	1228	0,1315
	Sinop		1145	0,1332
	Querência		707	0,1484
	Tangará da Serra		1672	0,1254
	Primavera do Leste		1272	0,1307
	Itiquira		1336	0,1296
	Brasnorte		411	0,1771
	Campo Novo dos Parecis		471	0,1684
	Sorriso	Sinop (MT)	80	0,4608
	Sinop		2	14,1972
	Querência		718	0,1477
	Tangará da Serra		518	0,1629
	Primavera do Leste		564	0,1585
Rodo-Ferro-Hidro	Itiquira		835	0,1423
	Brasnorte		1387	0,1289
	Campo Novo dos Parecis		1202	0,1320
	Sorriso	São Simão (GO)	1205	0,1319
	Sinop		1288	0,1304
	Querência		946	0,1383
	Tangará da Serra		1052	0,1353
	Primavera do Leste		726	0,1474
	Itiquira		513	0,1635

Fonte: Adaptado de Silva Neto (2018)

4.1.3 Dados intermodais

Os dados de tarifas de transbordo, frete ferroviário e frete hidroviário utilizados neste trabalho são oriundos da pesquisa de Silva Neto (2018), obtidos através de coleta de informações junto aos agentes envolvidos nas respectivas operações e corrigidos pelo IPCA (BRASIL, 2019). O custo intermodal das rotas propostas (Sinop - Miritituba, Nova Xavantina – Vila do Conde e São Félix do Araguaia – Vila do Conde) foi baseado no valor de corredores com características semelhantes já existentes, a exemplo da rota Porto Nacional-Itaqui no caso do modal ferroviário e a rota Miritituba-Vila do Conde no caso do modal hidroviário. No modelo, todos os terminais não apresentaram limitação de capacidade para o escoamento da produção em todos os

cenários. As rotas intermodais foram classificadas de acordo com o sentido, ou seja, sentido Sudeste/Sul ou Arco Norte, conforme as figuras 21 e 22 abaixo.

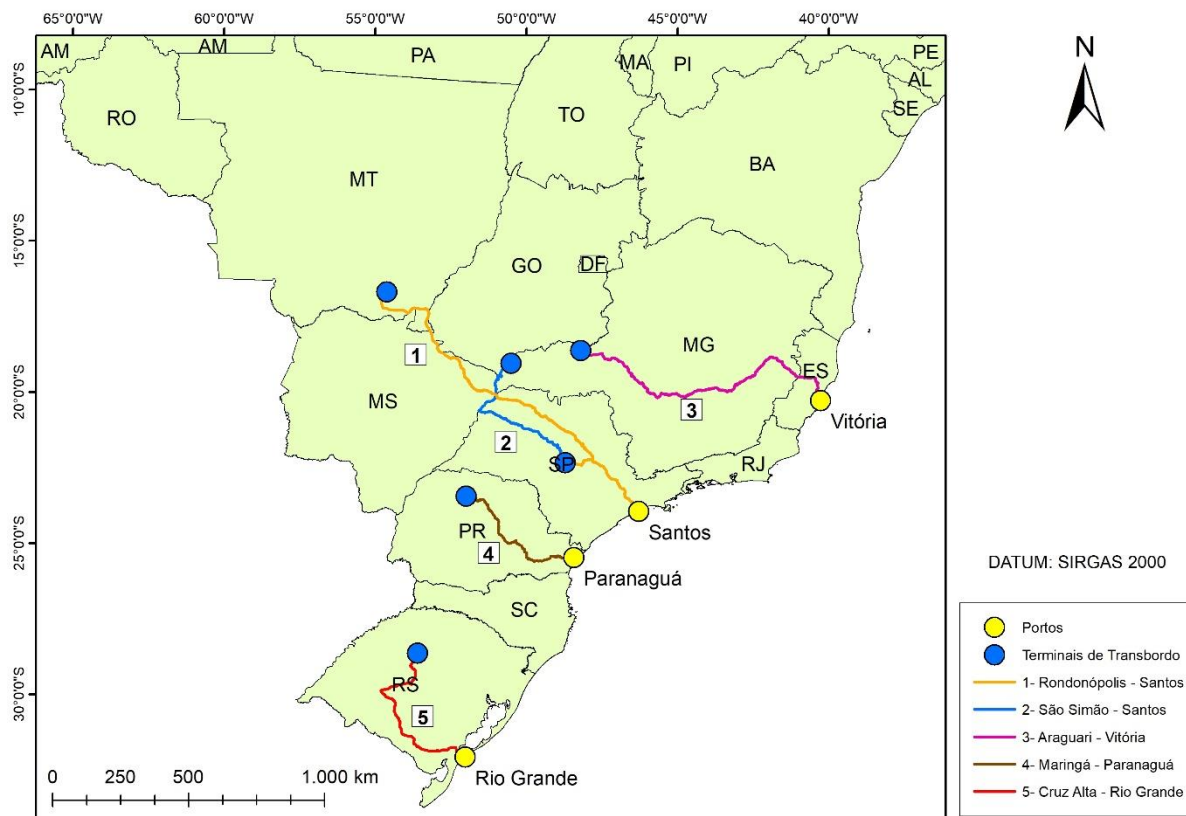


Figura 21 – Rotas intermodais do corredor Sudeste/Sul
Fonte: Autor (2021)

Observa-se a presença predominante do transporte ferroviário dessas rotas (80%), representadas pelas rotas Rondonópolis-Santos, Araguari-Vitória, Maringá-Paranaguá e Cruz Alta-Rio Grande. A única rota hidroviária é a São Simão-Santos, que percorre o primeiro trecho pelo modal hidroviário e o segundo trecho por modal ferroviário até o Porto de Santos, sendo portanto uma rota (Rodo-Hidro-Ferro).

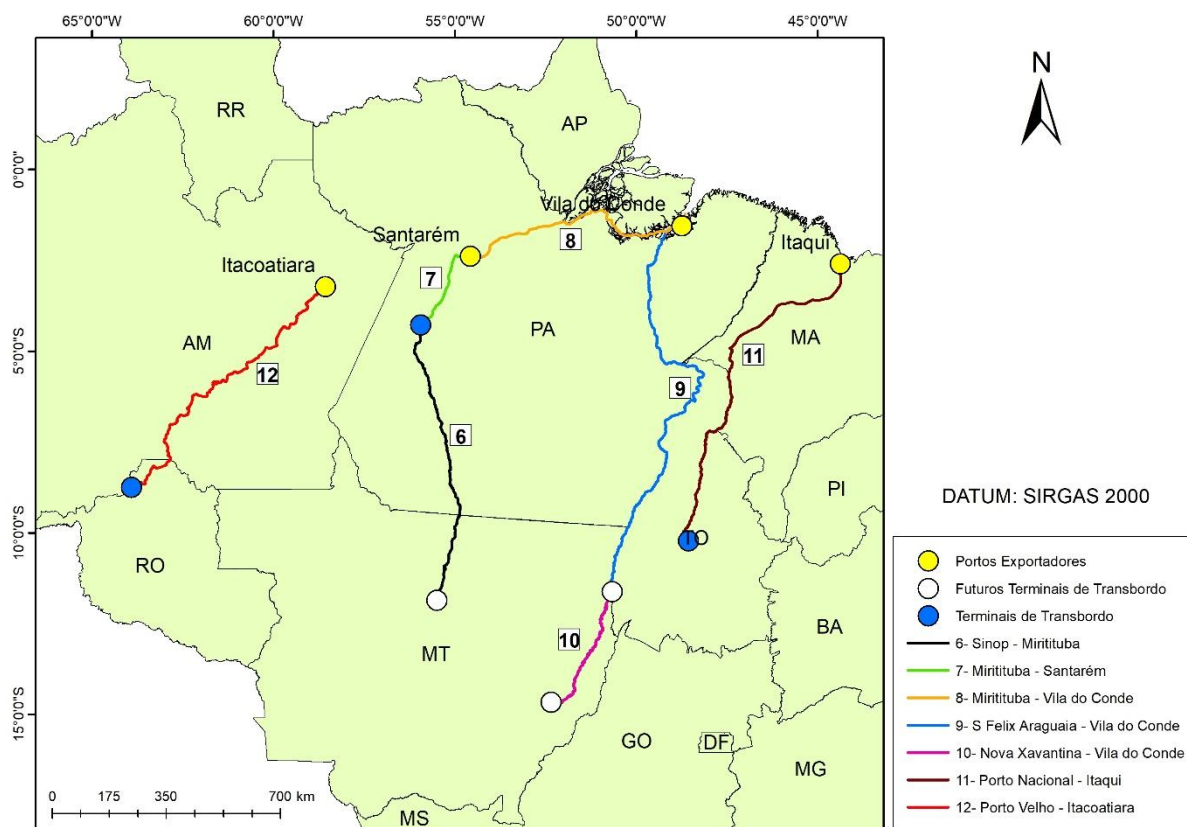


Figura 22 – Rotas intermodais do corredor Arco Norte
Fonte: Autor (2021)

Em relação as rotas intermodais do corredor Arco Norte a predominância é de rotas hidroviárias (85%), a exemplo de Porto Velho-Itacoatiara, Miritituba-Santarém e Miritituba-Vila do Conde, São Félix do Araguaia–Vila do Conde, Nova Xavantina-Vila do Conde. A rota Porto Nacional-Itaqui é totalmente ferroviária e a rota proposta Sinop-Miritituba é rodoferroviária, percorrendo o trecho 6 pelo modal ferroviário e o trecho 7 ou 8 pelo modal hidroviário. A tabela 9 abaixo ilustra as distâncias das rotas, bem sua classificação por tipo, trecho, corredor e o valor do frete intermodal.

Tabela 9 – Frete intermodal

Sentido	Trecho	Tipo	Terminal	Porto	Distância (km)	Frete intermodal (R\$/t.km)
Sudeste/Sul	1	Rodoferro	Rondonópolis (MT)	Santos (SP)	1662,82	0,0863
Sudeste/Sul	2	Rodoferrohidro	São Simão (GO)	Santos (SP)	1167,10	0,0852
Sudeste/Sul	4	Rodoferro	Maringá (PR)	Paranaguá (PR)	615,137	0,1266
Sudeste/Sul	3	Rodoferro	Araguari (MG)	Vitória (ES)	1329,39	0,0732
Arco Norte	8	Rodohidro	Miritituba (PA)	Vila do Conde (PA)	1153,23	0,0578
Arco Norte	7	Rodohidro	Miritituba (PA)	Santarém (PA)	363,73	0,0986
Sudeste/Sul	5	Rodoferro	Cruz Alta (RS)	Rio Grande (RS)	706,01	0,0581
Arco Norte	11	Rodoferro	Porto Nacional (TO)	Itaqui (MA)	1249,46	0,0492
Arco Norte	12	Rodohidro	Porto Velho (RO)	Itacoatiara (AM)	1007,70	0,0610
Arco Norte	6-7	Rodoferrohidro	Sinop (MT)	Santarém (PA)	1302,73	0,1241
Arco Norte	6-8	Rodoferrohidro	Sinop (MT)	Vila do Conde (PA)	2092,23	0,0966
Arco Norte	10	Rodohidro	Nova Xavantina (MT)	Vila do Conde (PA)	2085,64	0,0405
Arco Norte	9	Rodohidro	S. Félix do Araguaia (MT)	Vila do Conde (PA)	2656,75	0,0318

Fonte: Adaptado de Silva Neto (2018) & SNV (2021)

4.1.4 Dados portuários

Os nove complexos portuários foram escolhidos pois correspondem a mais de 90% do escoamento da soja brasileira e os dados referentes à capacidade de exportação dizem respeito ao maior escoamento anual por complexo portuário entre os anos 2014 e 2018, os quais foram obtidos a partir da base de dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), cerca de 22,2 milhões de toneladas (MDIC, 2018). Além disso as taxas portuárias foram corrigidas de acordo com o IPCA. O Porto de Santana, apesar de fazer parte do Arco Norte, não foi incluído na análise pois apresenta atualmente baixa movimentação de soja, porém com perspectiva de crescimento nos próximos anos, já o Porto de Salvador não foi incluído

pois não exporta a produção oriunda do Mato Grosso. A tabela 10 abaixo apresenta os dados.

Tabela 10 – Total exportado e taxa portuária - 2018

Complexos portuários	Total exportado (mil t)	Taxa (R\$/t)
Santos (SP)	9065,656	34,95
Paranaguá (PR)	1494,18	28,60
Rio Grande (RS)	285,174	27,01
S. Francisco do Sul (SC)	758,866	28,28
Vila do Conde (PA)	3932,242	23,77
Santarém (PA)	1974,208	23,48
Itaqui (MA)	1333,275	27,01
Vitória (ES)	1680,144	29,23
Itacoatiara (AM)	1747,305	25,07

Fonte: Adaptado de Silva Neto (2018) e MDIC (2018)

4.2 VALIDAÇÃO DOS CUSTOS

A fim de avaliar a confiabilidade dos dados, os custos referentes ao frete rodoviário, ferroviário e hidroviário utilizados nesta pesquisa, oriundos de Silva Neto (2018) a partir da base de dados do SIFRECA, foram comparados a partir de três critérios, sendo uma bases de dados e a duas metodologias. É importante salientar que a determinação de fretes é um processo empírico, onde se observa o comportamento dos transportadores com base em coleta de dados, e a partir daí são feitos tratamentos estatísticos a fim de determinar correlações entre as variáveis e assim determinar certos padrões, como fretes por certas distâncias.

O primeiro critério é referente ao simulador de custo de transporte, desenvolvido pela Empresa de Planejamento e Logística (EPL), vinculada ao Ministério da Infraestrutura, como suporte para a elaboração do Plano Nacional de Logística Integrada (PNLI) (PNLI, 2021). O mesmo é uma ferramenta que possibilita o cálculo dos custos de transporte para os diferentes modos (rodoviário, ferroviário e aquaviário) e grupos de mercadorias (granéis sólidos agrícolas, granéis sólidos não agrícolas, granéis líquidos, cargas gerais e cargas gerais em contêiner).

Informando o modo de transporte a ser utilizado, o grupo de mercadorias e a distância a ser percorrida, será obtido o valor do custo médio para o trajeto em reais por tonelada ou reais por metro cúbico. O custo do transporte hidroviário é dividido entre baixa, média e alta restrição e tais restrições se referem ao fato da necessidade de desmembramentos de comboios em rios ou outras restrições operacionais que afetam a navegabilidade da embarcação, como períodos de seca. Já o custo médio do transporte ferroviário se divide entre a presença de tarifas acessórias ou não.

O segundo critério utilizado para comparação é baseado na metodologia proposta por Rocha (2020) que utilizou valores estimados de frete rodoviário, obtidos a partir da equação 17. Este modelo foi obtido a partir de um conjunto de valores de fretes rodoviários para os portos brasileiros exportadores de soja no ano de 2017 com coeficiente de determinação da versão linear igual a 88,47%. Os fretes foram estimados para a mesma combinação origem-destino (OD) entre os terminais de transbordo e os portos.

$$F = e^{-0,072183367} \cdot d_{od}^{0,733679018} \quad (17)$$

Baseado nos valores encontrados pela equação 17, os valores de referência para os fretes hidroviários e ferroviários foram obtidos por meio de descontos no valor do frete rodoviário para a mesma combinação entre localidades de origem e destino. Tais percentuais foram obtidos da seguinte forma: o frete hidroviário corresponde a 40% do valor do frete rodoviário F , para uma mesma combinação de origem e destino. Já o frete ferroviário corresponde a 70% do valor do frete rodoviário, também para uma mesma combinação de origem e destino.

O terceiro critério foi baseado no Plano Nacional de Integração Hidroviária (PNIH), desenvolvido pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) em parceria com o Laboratório de Transportes e Logística (LABTrans) pertencente a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). (PNIH, 2013). Os valores de frete rodoviário, hidroviário e ferroviário foram retirados de pesquisas *in loco* das cargas transportadas, por origem-destino nos diversos modais de transporte.

- Frete rodoviário

Os valores de frete rodoviários foram comparados entre si, utilizando os três critérios: EPL (2018), Rocha (2020) e ANTAQ (2013), conforme a figura 23.

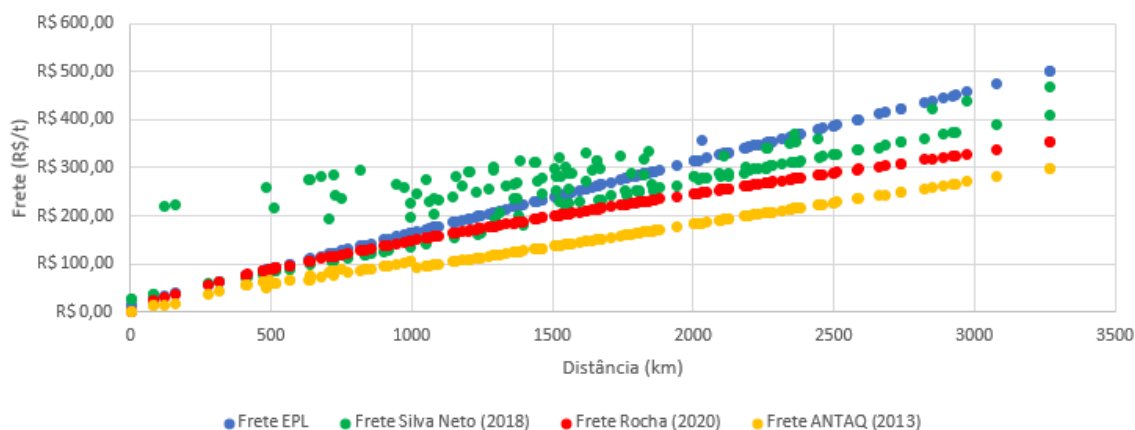


Figura 23 – Comparação entre os fretes rodoviários
Fonte: Autor (2021)

É possível observar na figura 22 que dentre as quatro metodologias, os fretes EPL (2018) e Silva Neto (2018) possuem, em média, os maiores valores e, de maneira inversa, o frete ANTAQ (2013) possui os menores valores. O frete Rocha (2020) apresentou valores intermediários. Além disso, o frete Silva Neto (2018), utilizado nesta pesquisa, apresentou valores intermediários, com discrepâncias maiores a partir de 1200 km.

- Frete ferroviário

Conforme a figura 24, em relação aos valores de frete ferroviário, os valores apresentaram resultados muito discrepantes entre si. O frete Rocha (2020) e o frete EPL (2018) foram os que apresentam melhores resultados.

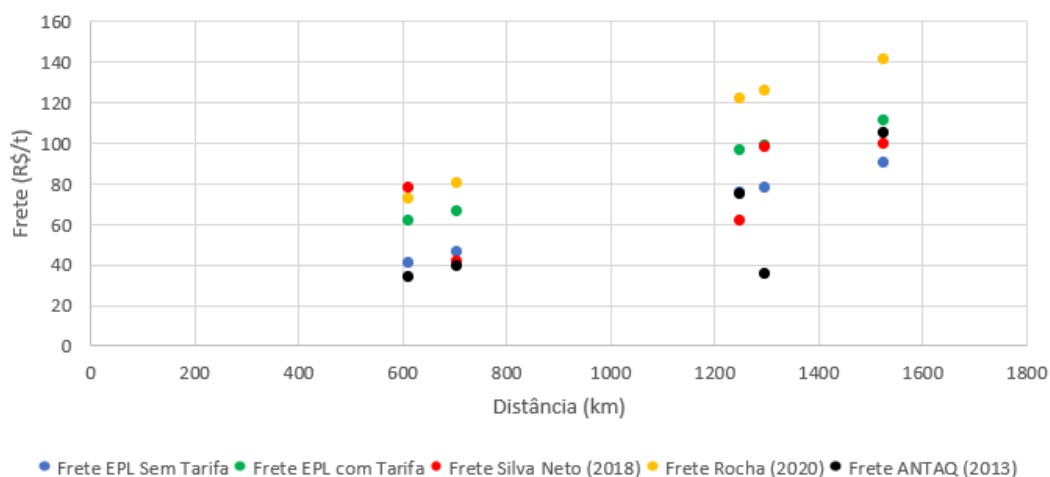


Figura 24 – Comparação entre os fretes ferroviários
Fonte: Autor (2021)

É possível observar que os resultados apresentam maiores discrepâncias entre 600km e 800 km e 1200 km e 1400 km, rotas essas compreendidas entre Cruz Alta-Rio Grande, Porto Nacional-Itaqui e Araguari-Vitória. Entre 800 km e 1000 km, compreendendo as rotas de Maringá-Paranaguá e Sinop-Miritituba os resultados apresentaram os valores mais próximos. Em relação ao frete EPL, os valores com tarifa possuíram valores cerca de R\$ 20,00 maiores que os valores sem tarifa.

- Frete hidroviário

Dentre a análise de todos os modais de transporte, o hidroviário foi o cenário com a discrepância entre a base de dados e as metodologias utilizadas na comparação, conforme a figura 25.

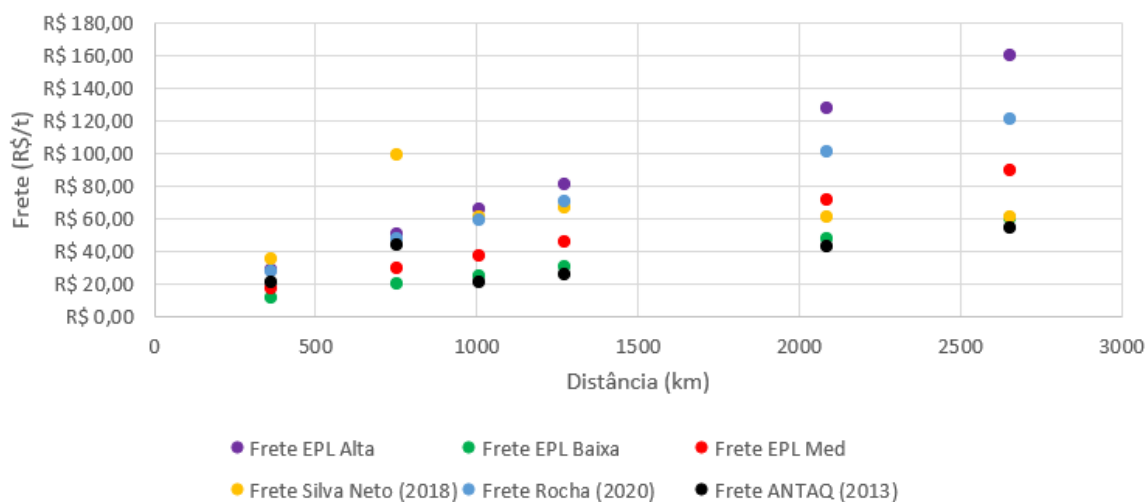


Figura 25 – Comparação entre os fretes hidroviários
Fonte: Autor (2021)

Entre 0 km e 500 km os valores analisados apresentaram resultados semelhantes, sendo representado pela rota Miritituba-Santarém. Porém, entre 500 km e 1000 km houve uma grande diferença entre o valor encontrado pelo frete Silva Neto e os outros, representado pelo trecho São Simão-Santos, através da hidrovia Tietê-Paraná. Já entre o intervalo de 1000 km e 2000 km a diferença diminuiu, com resultados relativamente próximos. A partir de 2500 km a diferença entre os fretes é grande, chegando a R\$ 30 entre o frete Rocha (2020) e o frete EPL (2018). Em relação ao frete EPL, as tarifas com restrição baixa apresentaram em média valores R\$ 10,00 menores que as tarifas com a restrição média, já a tarifa com restrição alta possuiu um acréscimo de R\$ 30 no seu frete em relação ao frete com restrição média.

Desse modo, é possível inferir que por se tratar de muitas rotas e muitos dados de entrada, a análise de regressão linear conseguiu estabelecer uma relação melhor entre distância e frete rodoviário. Porém, nas rotas hidroviárias e ferroviárias a correlação entre os diversos dados foi baixa. Por fim, conclui-se que por se tratar de um procedimento empírico, muitas variáveis podem interferir no valor final do frete, a exemplo da BR-163, que em 2020 teve sua pavimentação completa e por

consequência, influência na diminuição do frete para os portos de Miritituba e Santarém.

4.3 MODELO DE TRANSPORTE

Com base na teoria de Programação Linear, em especial o problema do transporte, foi desenvolvido um modelo de otimização linear, com o objetivo de minimização do custo total do transporte, agregando-se, assim, os custos de transporte terrestre, taxas de transbordo e as taxas portuárias.

4.3.1 Função objetivo

$$\begin{aligned}
 Z = & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_i \cdot FR_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^r P_{ik} \cdot FP_{ik} \\
 & + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^r P_{ik} \cdot CT_k + \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^m I_{kj} \cdot FI_{kj} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r (R_{ij} + I_{kj}) \cdot CE_j
 \end{aligned} \tag{18}$$

4.3.2 Restrições

Foram consideradas as seguintes restrições:

- Restrição que garante o escoamento da oferta:

$$\sum_{j=1}^m R_{ij} + \sum_{j=1}^m P_{ik} = OFT_i, \text{ para todo } i \tag{19}$$

a soma dos fluxos originados nos centroides produtores i , transportados através do modal rodoviário diretamente aos portos exportadores, mais a soma dos fluxos originados nos mesmos centroides destinados aos terminais de transbordo, deve ser igual a oferta de grãos para exportação nos centroides i . Tal restrição garante que toda a produção será escoada por meio do modal rodoviário diretamente ou através do terminal de transbordo.

- Restrição que garante a continuidade do escoamento que chega ao terminal de transbordo:

$$\sum_{i=1}^n P_{ik} + \sum_{k=1}^r I_{kj}, \quad \text{para todo } k \quad (20)$$

ou seja, a soma do volume de grãos oriundos dos centroides produtores i e destinados aos terminais de transbordo k deve ser igual ao fluxo de saída dos terminais k . Portanto, os terminais obrigatoriamente escoam toda a produção recebida, atuando apenas como pontos intermediários.

- Restrição da demanda nos portos exportadores:

$$\sum_{i=1}^n P_{ik} + \sum_{k=1}^r I_{kj}, \quad \text{para todo } k \quad (21)$$

tal restrição garante que a soma dos fluxos de origem nos pontos de transbordo k e destino aos portos exportadores j mais a soma dos fluxos de origem nos centroides i e destino aos portos j devem ser menor ou igual à demanda do porto j . Tal premissa garante que a capacidade operacional dos portos não seja violada no modelo. Nesse problema em questão, os valores da origem são menores que os valores do destino, logo, foram criados "origens fantasmas" que suprem a demanda não atendida a um custo igual a 0.

4.3.3 Parâmetros

A descrição dos parâmetros, índices e variáveis de decisão utilizados no modelo será listada a seguir:

- Parâmetros:
 - OFT_i : oferta de grãos destinados à exportação no centroide i em toneladas por ano.

DEM_j : demanda de embarque dos portos exportadores j em toneladas por ano.

FR_{ij} : frete rodoviário em reais por tonelada com origem no centroide produtor i e destino ao porto exportador j .

FP_{ik} : frete intermodal em reais por tonelada com origem no centroide produtor i e destino ao terminal de transbordo k .

FI_{kj} : frete intermodal em reais por tonelada com origem no terminal k e destino no porto exportador j .

OFT_i : oferta de grãos destinados à exportação no centroide i em toneladas por ano.

CT_k : custo para efetivação do transbordo no terminal k em reais por tonelada.

CE_j : custo de elevação portuária no porto exportador j por tonelada.

- Variáveis de decisão:

R_{ij} : fluxo rodoviário em toneladas com origem no centroide i e destino ao porto exportador j .

P_{ik} : fluxo rodoviário em toneladas com origem no centroide i e destino ao terminal de transbordo k .

I_{kj} : fluxo intermodal em toneladas com origem no terminal de transbordo k e destino ao porto exportador j .

- Índices:

i : centroide produtor de grãos de soja.

j : porto exportador de grãos de soja.

k : terminal de transbordo intermodal de grãos de soja, com possibilidade de ser rodoferroviário ou rodohidroviário.

n : número total de centroides produtores.

m : número total de portos exportadores.

r : número total de terminais de transbordo.

O modelo foi desenvolvido no software *General Algebraic Modelling System - GAMS*. O GAMS é utilizado para a solução de problemas complexos, envolvendo

programação linear, não linear e inteira. O software utiliza-se de uma linguagem de alto nível com a finalidade de proporcionar uma representação compacta de modelos grandes e complexos, desse modo a construção, bem como a resolução tornam-se mais direta para os programadores, e mais inteligível para usuários de outras disciplinas (BROOKE et al., 1995).

De tal modo, é possível que as descrições do modelo independam dos algoritmos de solução, o que possibilita mudanças nas especificações do modelo de maneira bem simples. A vantagem do GAMS, portanto, é o aumento da produtividade dos modelistas, além de expandir as aplicações da programação matemática para outras áreas do conhecimento (BROOKE et al., 1995; BARON, 2017).

4.4 ANÁLISE DE INVESTIMENTOS

Esta pesquisa utilizou a metodologia Análise do Custo Efetividade (ACE) para avaliar os investimentos propostos, para tanto, primeiramente foram levantados os custos de implantação da Ferrogrão e adequação da Hidrovia Araguaia-Tocantins.

4.4.1 Custos de adequação da Hidrovia Araguaia-Tocantins

Ao analisar a questão do investimento financeiro na Hidrovia Araguaia-Tocantins, os componentes do custo utilizados são oriundos de CNT (2019), Ministério dos Transportes (MT), conforme a tabela 11 abaixo:

Tabela 11 – Custos de adequação da Hidrovia Araguaia-Tocantins

Tipo	Nome	Extensão (km)	Valor (R\$)
Abertura de canal	Dragagem, sinalização, balizamento e Derrocamento do Pedral do Lourenço	1610	5.591.579.324,98
Adequação de hidrovia	Adequação, Sinalização e balizamento	2571	11.961.815.673,02
Dispositivo de transposição	Manutenção da eclusa de Marabá	1 und	1.097.131.096,77
Instalação de terminal	Nova Xavantina e S. Félix do Araguaia	2 und	828.000.000
TOTAL			19.478.526.094,78

Fonte: PHE (2013) & CNT (2019)

Segundo o CNT (2019) e MT (2013) as obras consideradas as mais dispendiosas foram as relacionadas à adequação de trechos hidroviários, cerca de 60% do custo total, através de balizamento e sinalização, principalmente por se tratar

de longos trechos. O DNIT e o MINFRA classificam a obra como pública e, portanto, os recursos deverão vir do Governo Federal para a execução (PPI, 2020). Além disso, o empreendimento é considerado como estratégico do ponto de vista nacional e está presente em todos os planos logísticos governamentais como uma das obras prioritárias.

Os custos de implantação dos terminais utilizados neste trabalho foram baseados no custo proposto pelo PHE para implantação de outro terminal, com características semelhantes, na mesma hidrovia, por isso o valor considerado foi o mesmo. Além disso, todos os custos foram corrigidos pela inflação no cenário atual e projetados nos cenários propostos.

4.4.2 Custos de implantação da Ferrogrão

Em relação aos custos de implantação da Ferrogrão (EF-170), os valores foram baseados no estudo complementar do Estudo de Viabilidade Técnica Econômica e Ambiental (EVTEA) (ELP, 2016) e corrigidos pela inflação no cenário atual e projetados nos cenários propostos (BRASIL, 2019), conforme a tabela 12:

Tipo	Valor (R\$)
Terraplenagem	1.685.134.389,40
Obras de Arte Corrente	1.116.439.371,97
Superestrutura	1.945.080.537,65
Obras Complementares	701.968.406,51
Obras de Arte Especiais	372.579.252,64
Compensação socioambiental	404.864.784,48
Desapropriação	63.143.280,00
Sinalização e energia	733.555.118,87
Equipamentos ferroviários	318.834.244,86
Oficinas e instalações	673.382.127,86
Canteiro de obras	79.383.726,69
Engenharia	325.251.645,91
Material rodante	4.712.430.947,83
TOTAL	13.132.047.834,66

Fonte: ELP (2016)

De acordo com ELP (2016), o custo mais caro da construção da Ferrogrão é a aquisição do material rodante, correspondente à locomotivas e máquinas de via, compondo cerca de 36% do valor total da obra. Este projeto está incluso na Programa de Parceria de Investimento (PPI) do Governo Federal, e portanto será financiado pela iniciativa privada em regime de concessão por 65 anos. Segundo a Agência Nacional

de Transportes Terrestres (ANTT), a futura concessionária será responsável pela exploração do serviço público de transporte ferroviário de cargas em modelo vertical, ou seja, deverá construir, manter e ampliar a infraestrutura da ferrovia (via permanente, sistemas, oficinas etc.) e também realizar as operações de transporte ferroviário das diversas mercadorias, para todos os clientes que desejarem utilizar seus serviços. Além disso, a ampliação da ferrovia também está prevista.

4.4.3 Aplicação da Análise de Custo Efetividade (ACE)

Após a etapa, de levantamento de custos, é aplicada a metodologia ACE, que busca avaliar de maneira quantitativa e qualitativa os investimentos, bem como priorizar os referidos projetos. Este método foi escolhido em detrimento dos outros dois apresentados pois procurou-se analisar os benefícios dos projetos a partir de outra ótica, não voltada apenas para o retorno econômico, como o modelo de Programação Linear, mas sim agregando outras vantagens do ponto de vista ambiental e social.

Para tanto, foram elencados os índices com maior impacto econômico e socioambiental a partir das rotas de escoamento da soja, sendo estes: Redução do custo de transporte, emissão de CO_2 , eficiência energética e redução de caminhões em detrimento da intermodalidade proposta. Em seguida, para quantificar cada efeito em uma unidade "comum" ou próxima para permitir comparação dos efeitos entre os projetos ou dos índices entre si cada índice foi dividido por bilhão de R\$ investido. Além disso, foram desenvolvidos pesos para cada um dos índices de modo a se identificar quanto cada indicador representa para o benefício total do projeto.

Tais pesos foram classificados da seguinte maneira: redução do custo de transporte e eficiência energética pertencem à variável econômica e emissão de CO_2 e redução de caminhões pertence à variável socioambiental, sabe-se que todas as áreas são correlatas, porém, para fins de análise, os pesos foram assim classificados. É importante ressaltar que embora classificadas em dois tipos diferentes, todas as variáveis possuem uma correlação, por exemplo, a redução de caminhões que foi classificada como uma variáveis socioambiental, possui impacto econômico também, pois a redução de caminhões nas rodovias acarretará menor desgaste no pavimento, e portanto, menor custo de manutenção das vias. Do mesmo modo, a eficiência energética, considerado como uma variável econômica, também possui efeito

socioambiental, pois quanto menor o gasto energético de combustível, melhor para o meio ambiente.

Tendo em vista a definição dos índices e dos pesos, a metodologia foi assim classificada. Quando se deseja dar um maior enfoque ao retorno socioambiental, a emissão de CO_2 e redução de caminhões terão peso maior e quando a intenção for dar ênfase ao retorno financeiro os custos de transporte e eficiência energético terão seus respectivos valores de peso maiores. O somatório dos pesos deve sempre chegar a 100%, representando o retorno do investimento.

A última etapa da análise ACE foi composta pela multiplicação do peso pelo valor do índice gerando uma mensuração do benefício de tal indicador para o benefício total do empreendimento, além de somar os benefícios de cada critério analisado de modo a resultar no benefício total. Por fim, ocorre a priorização dos projetos segundo o maior valor final do benefício total.

O cálculo da eficiência energética em termos de modal de transporte utilizando os dados de modelo de transporte utilizou a metodologia de Anciães et al. (1980) e Correa e Ramos (2010) considerando a equivalência comparativa de cargas de mesma densidade, conforme a tabela 13 abaixo.

Tabela 13 – Eficiência energética entre aos modais de transporte de carga

Modal	Ton-Km/l
Rodovia	25
Ferrovia	88
Hidrovia	98

Fonte: Adaptado de Anciães et al. (1980) apud Correa e Ramos (2010)

Em relação à capacidade de transporte do caminhão, foi adotado o valor aproximado de 30 toneladas, oriundo da pesquisa de Ronchi, Moura e Rocha (2013). Já o cálculo das emissões de CO_2 foi baseado em PMBC (2013) e Leal Junior et al. (2015), que considerou os fatores de emissão por modal de transporte, conforme a tabela 14 abaixo.

Tabela 14 – Fatores de emissão de CO_2 por modal de transporte

Modal	Fatores de emissão (kg/t.km)
Rodovia	0,119
Ferrovia	0,018
Hidrovia	0,034

Fonte: PMBC (2013) e Leal Junior et al. (2015)

Na tabela 15 estão ilustrados os retornos de todos os cenários possíveis de implantação da Ferrogrão e adequação da Hidrovia Araguaia-Tocantins. Os valores são oriundos do resultado do modelo otimização do custo de transporte desenvolvido em Programação Linear.

Tabela 15 – Base de dados a ser utilizada na ACE

Cenários	Valor estimado (bilhões R\$)	Redução do custo de transporte (milhões R\$)	Emissão de CO ₂ (bilhões t)	Eficiência energética (bilhões t)	Redução de caminhões (milhões)
2018.2	18,820	586,623	-353,319	-1201,545	138
2018.3	18,820	585,607	-3030,053	-284,294	97
2018.4	18,820	702,748	-209,239	-835,098	196
2018.5	18,820	756,429	-378,436	-1359,076	160
2018.6	18,820	797,031	27,820	-225,827	64
2018.7	18,820	949,816	-91,806	-30,897	196
2025.2	24,466	1607,016	-691,257	-2363,971	261
2025.3	24,466	1579,583	-101,082	-553,672	188
2025.4	24,466	1883,993	-412,612	-1655,280	386
2025.5	24,466	2114,635	-759,089	-2774,841	305
2025.6	24,466	2181,675	61,506	-436,737	122
2025.7	24,466	2578,644	-287,231	-1592,502	386
2030.2	30,582	2317,000	-556,374	-1971,133	-86
2030.3	30,582	2305,259	194,950	-979,008	-86
2030.4	30,582	2758,847	-449,738	-410,395	-86
2030.5	30,582	3018,342	138,810	-1682,494	-179
2030.6	30,582	3151,396	334,708	78,724	-86
2030.7	30,582	3744,211	34,154	-685,689	-86

Fonte: Autor (2021)

É possível observar que em alguns cenários ocorre aumento da emissão de CO₂, Eficiência energética e Redução de caminhões, tal fato se deve ao aumento da quantidade transportada ao longo dos anos, por este motivo este índice possui sinal negativo. A partir da base de dados, foram estabelecidos seis indicadores, sendo estes resultado da divisão de cada índice pelo valor estimado do investimento (implantação da Ferrogrão e adequação da Hidrovia Araguaia-Tocantins), os resultados estão expressos na tabela 16.

Tabela 16 – Indicadores de cada cenário

Cenários	Redução do custo de transporte	Emissão de CO ₂	Eficiência energética	Redução de caminhões
2018.2	31,170	-18,774	-63,845	7,324
2018.3	31,116	-161,003	-15,106	5,150
2018.4	37,341	-11,118	-44,373	10,395
2018.5	40,193	-20,108	-72,215	8,505
2018.6	42,351	1,478	-11,999	3,402
2018.7	50,469	-4,878	-1,642	10,395
2025.2	65,684	-36,730	-125,611	10,662
2025.3	64,563	-5,371	-29,420	7,693
2025.4	77,005	-21,924	-87,954	15,762
2025.5	86,432	-40,335	-147,442	12,478
2025.6	89,172	3,268	-23,206	5,003
2025.7	105,398	-15,262	-84,618	15,762
2030.2	75,763	-29,563	-104,737	-2,807
2030.3	75,379	10,359	-52,020	-2,807
2030.4	90,211	-23,897	-21,807	-2,807
2030.5	98,696	7,376	-89,400	-5,867
2030.6	103,047	17,785	4,183	-2,807
2030.7	122,431	1,815	-36,434	-2,807

Na tabela 17 faz-se a análise de sensibilidade através de seis critérios, que consiste na variação dos pesos propostos. Essa análise pode ser utilizada para verificar se uma mudança na importância dos indicadores altera a avaliação final do empreendimento.

Tabela 17 – Peso dos indicadores

Critérios	Variáveis econômicas		Variáveis socioambientais	
	Custo de transporte	Eficiência energética	Emissão de CO ₂	Redução de caminhões
Critério 1	6	2	1	1
Critério 2	1	1	2	6
Critério 3	5	5	0	0
Critério 4	0	0	5	5
Critério 5	2	6	1	1
Critério 6	1	1	6	2

Ainda na tabela 17 de acordo com o critério 1, o custo de transporte representa 80% do retorno econômico e 20% do retorno socioambiental. Já o critério 2 tem maior peso para as variáveis socioambientais, correspondendo a 80% do benefício e para as econômicas 20% do benefício. O critério 3 excluiu os benefícios socioambientais e no critério 4 os benefícios econômicos. No critério 5, a eficiência de energia representa 60% e redução de custos 20% nas variáveis econômicas e 20% nas variáveis socioambientais, 10% nas emissões de CO₂ e 10% na redução nos caminhões. Já o critério 6 é o oposto do critério 5. De acordo com o critério 1, o custo de transporte representa 80% de retorno econômico e 20% de retorno socioambiental.

5 RESULTADOS

Os principais resultados e discussões dessa pesquisa foram classificados de acordo com os anos e divididos em três tópicos, sendo eles: 1) Resultados gerais, o qual descreve os comparativos de custo entre os cenários, ou seja, o custo total, bem como os principais destinos dos centroides em termos de corredor, 2) Resultados específicos, que aborda a divisão modal do transporte (rodoviário, hidroviário ou ferroviário), além da taxa de utilização dos portos e 3) Resultados da Análise de Custo-Efetividade, o qual descreve as prioridades de investimento pelo modelo de acordo com os índices e a variação dos pesos atribuídos.

5.1 RESULTADOS GERAIS

Entre os 21 cenários avaliados nesta pesquisa, o cenário que apresenta o menor custo de transporte, é o cenário 2030.7. A economia total apresentada em relação ao cenário base do ano em questão (2030.1) é de 20,5%, o que representa cerca de R\$ 3,7 bilhões. Vale lembrar que os cenários 2018.7, 2025.7 e 2030.7 mantém a capacidade dos portos do Sul e Sudeste e aumentam em 100% a capacidade portuária do Arco Norte, bem como a implantação da Ferrogrão e Hidrovia Araguaia-Tocantins.

O segundo melhor desempenho econômico pertence aos cenários 2018.7 e 2025.7, cuja redução de custos chega a 20%, mesmo com aumento previsto de 107% na exportação de soja oriunda do Mato Grosso, valor este próximo de 42 milhões de toneladas. O valor a ser economizado é de aproximadamente R\$ 950 milhões e R\$ 2,5 bilhões, respectivamente.

Por fim, o terceiro cenário que apresentou o menor custo logístico total é o 2030.6. A economia estimada é de cerca de R\$ 3,15 bilhões, redução de 17,3% em relação ao cenário base (2030.1). Porém, é importante ressaltar que o panorama de 2030 é passível de grandes alterações, tanto produtivas quanto de investimentos em infraestrutura por parte dos estados exportadores, visto que previsões a longo prazo dependem de muitos fatores e dados que não foram considerados nesta pesquisa.

A tabela 18 abaixo ilustra a economia do custo de transporte proposta pelo modelo aplicado nos cenários 2018.2, 2018.3, 2018.4, 2018.5, 2018.6, 2018.7, 2025.2, 2025.3, 2025.4, 2025.5, 2025.6, 2025.7, 2030.2, 2030.3, 2030.4, 2030.5,

2030.6 e 2030.7 em relação aos seus respectivos cenários, 2018.1, 2025.1 e 2030.1, os quais são considerados seus cenários base.

Tabela 18 – Economia proposta por cenário

Cenários	Custo de transporte (R\$)	Redução de custo	
		R\$	%
2018.1	4.774.273.141,81	-	-
2018.2	4.157.650.574,68	586.622.567,14	-12,4
2018.3	4.158.666.126,24	585.607.015,57	-12,3
2018.4	4.041.525.469,05	702.747.672,76	-14,8
2018.5	3.987.844.058,11	756.429.083,71	-15,9
2018.6	3.947.241.749,03	797.031.392,79	-16,8
2018.7	3.794.457.568,70	949.815.573,12	-20,0
2025.1	12.871.629.525,88	-	-
2025.2	11.264.613.982,47	1.607.015.543,41	-12,5
2025.3	11.292.046.137,08	1.579.583.388,80	-12,3
2025.4	10.987.636.705,22	1.883.992.820,66	-14,6
2025.5	10.756.994.473,75	2.114.635.052,13	-16,4
2025.6	10.689.954.786,30	2.181.674.739,58	-16,9
2025.7	10.292.985.150,61	2.578.644.375,27	-20,0
2030.1	18.265.286.034,31	-	-
2030.2	15.948.678.722,88	2.316.607.311,43	-12,7
2030.3	15.960.027.282,90	2.305.258.751,41	-12,6
2030.4	15.506.438.716,92	2.758.847.317,39	-15,1
2030.5	15.246.944.521,62	3.018.341.512,69	-16,5
2030.6	15.113.890.487,24	3.151.395.547,07	-17,3
2030.7	14.521.074.810,77	3.744.211.223,54	-20,5

Fonte: Autor (2021)

Ainda analisando a tabela 18, nota-se que os cenários onde apenas a Ferrogrão foi implantada (2018.2, 2018.5, 2025.2, 2025.5, 2030.2 e 2030.5) possuem reduções de custo menores, ainda que discretos, em relação aos cenários onde apenas a Hidrovia Araguaia Tocantins foi implantada (2018.3, 2018.6, 2025.3, 2025.6, 2030.3 e 2030.6). A diferença entre os mesmos varia de R\$ 1 milhão até R\$ 260 milhões de reais. Já em relação aos cenários onde houve ampliação de apenas 50% na capacidade portuária do Arco Norte, a maior redução de custo pertence ao cenário 2030.4, a economia chega a 15,1% ou R\$ 2,7 bilhões.

Para análise em termos de tonelada, a tabela 19 apresenta o custo total em R\$/t. Neste contexto, pode-se concluir que o custo médio para se transportar internamente uma tonelada de soja do Mato Grosso nos cenários bases é de R\$ 239,62 em 2018, e será de R\$ 313,51 em 2025 e R\$ 397,18 em 2030. Nos cenários ótimos de 2018, 2025 e 2030 a economia será de R\$ 47,97, R\$ 62,80 e R\$ 81,41.

Tabela 19 – Custo médio por operação logística (R\$/t)

Cenários	Custo total (R\$/t)	%
2018.1	239,62	-
2018.2	209,99	-14,1
2018.3	210,05	-14,1
2018.4	204,13	-17,4
2018.5	201,42	-19,0
2018.6	199,37	-20,2
2018.7	191,65	-25,0
2025.1	313,51	-
2025.2	274,37	-12,5
2025.3	275,04	-14,0
2025.4	267,63	-16,7
2025.5	262,01	-19,2
2025.6	260,37	-20,3
2025.7	250,71	-24,1
2030.1	397,18	-
2030.2	346,80	-12,7
2030.3	347,05	-14,5
2030.4	337,18	-17,3
2030.5	331,54	-19,5
2030.6	328,65	-20,7
2030.7	315,76	-24,8

Fonte: Autor (2021)

Em relação aos destinos escolhidos pelos centroides, de acordo com o modelo de transporte o corredor Arco Norte apresentou uma predominância de 71% em relação ao corredor Sudeste/Sul (29%). Em relação às rotas, a predominância foi de Sinop-Miritituba-Santarém e Sinop-Miritituba-Vila do Conde, com 17,9% de predominância dentre os oito centroides. Em segundo lugar as rotas para Santarém e Rondonópolis obtiveram cada 14,3%. As menos escolhidas foram as rotas para Araguari-Vitória e São Simão-Santos, ambas com uma ocorrência apenas, valor este correspondente a 3,6% cada. A tabela 20 abaixo ilustra o peso de cada destino nas rotas de escoamento.

Tabela 20 – Rotas de destino por corredor

Corredor	Rota de destino	%
Arco Norte	Porto Velho-Itacoatiara	7,1
Arco Norte	Sinop-Miritituba-Santarém/Vila do Conde	17,9
Arco Norte	Miritituba-Santarém/Vila do Conde	10,7
Arco Norte	Santarém	14,3
Sudeste/Sul	Rondonópolis	14,3
Sudeste/Sul	Paranaguá	7,1
Arco Norte	São Félix do Araguaia-Vila do Conde	10,7
Arco Norte	Nova Xavantina-Vila do Conde	10,7
Sudeste/Sul	Araguari-Vitória	3,6
Sudeste/Sul	São Simão-Santos	3,6

Fonte: Autor (2021)

O modelo concluiu que Itiquira não enviou para o Arco Norte em nenhum cenário (0%), já Primavera do Leste enviou apenas para Nova Xavantina (33%) e Querência enviou de maneira igualitária tanto para o Arco Norte quanto para o corredor Sudeste/Sul (50%). Nos centroides de Sorriso e Tangará da Serra o Arco Norte teve predominância de 66% frente ao corredor Sudeste/Sul. Os outros enviaram percentuais maiores do que 75% para o Arco Norte, conforme a Tabela 21 abaixo.

Tabela 21 – Rotas de destino por centroides

Centroides	Rota de destino	
	Arco Norte	Sudeste/Sul
Brasnorte	100%	0%
Campo Novo dos Parecis	75%	25%
Sorriso	66%	34%
Sinop	100%	0%
Querência	50%	50%
Tangará da Serra	66%	34%
Primavera do Leste	33%	67%
Itiquira	0%	100%

Fonte: Autor (2021)

Em relação aos destinos escolhidos pelos centroides, foi desenvolvido um mapa que classifica o melhor destino da produção do centroide de acordo com a otimização do modelo. Desse modo, centroides onde mais de 75% da produção foi transportada pelo Arco Norte é classificada como “Compensa enviar para o Arco Norte”, já os centroides onde tal percentual oscilou entre 50% e 75% foram classificados como “Pode enviar para o Arco Norte e Sudeste/Sul” e centroides onde o corredor Arco Norte apresentou percentuais de escolha menor de 50% foram classificados como “Compensa enviar para o Sudeste/Sul”. A Figura 26 abaixo ilustra tal classificação.

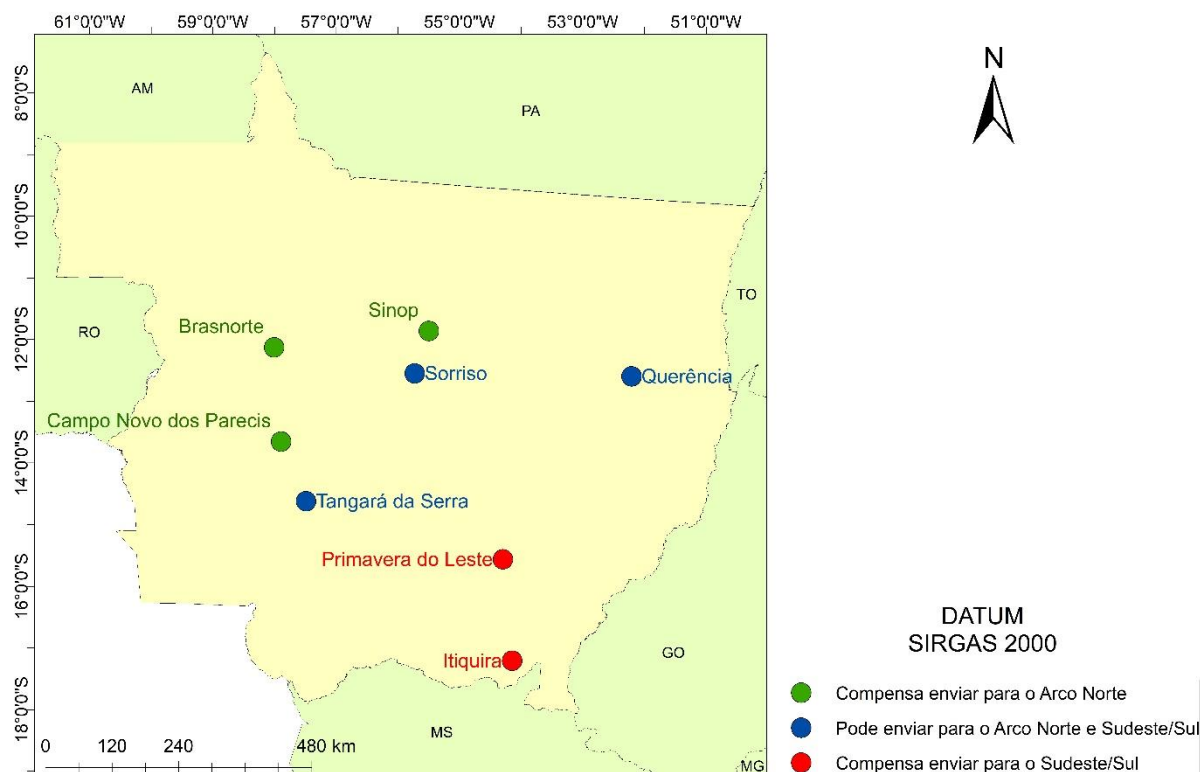


Figura 26 – Classificação dos centroides quanto ao melhor destino
Fonte: Autor (2021)

5.2 RESULTADOS ESPECÍFICOS

Conforme observado, o transporte rodoviário é o maior responsável pelo custo de transporte, portanto, a análise da divisão modal é de extrema importância na modelagem de otimização do custo logístico de qualquer objeto. Entretanto, é necessário também observar a absorção da demanda pela infraestrutura portuária. Este capítulo, portanto, aborda a divisão modal, bem como a utilização portuária de modo a contribuir com o processo de otimização.

- Cenários 2018.1, 2025.1 e 2030.1

Conforme a tabela 22, a análise dos anos base constatou que o modal rodoviário foi responsável por valores entre 1,0% e 36,2% no transporte de carga diretamente aos portos, sendo Vila do Conde e Santarém os principais portos. Já o transporte intermodal correspondeu a valores entre 63,8% e 99,1%, sendo o rodoferroviário o modal predominante, transportando sempre acima de 35% do total.

O corredor de Rondonópolis-Santos foi o mais utilizado, que correspondeu a valores sempre acima de 46% do total.

Tabela 22 – Intermodalidade nos cenários 2018.1, 2025.1 e 2030.1

Modal	Intermodalidade (%)		
	2018.1	2025.1	2030.1
Rodo	36,2	34,7	1,0
Rodoferro	35,1	37,6	58,0
Rodohidro	28,7	27,7	41,1
Rodoferrohidro	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autor (2021)

Em relação a taxa de utilização dos portos, o porto de Santos foi o mais utilizado em todos os cenários base, com valores entre 44,2% e 45,8%. Já o segundo porto mais utilizado foi o porto de Vila do Conde, oscilando entre 19,2% e 19,9% do total de carga exportado. O Porto de Santarém e Itacoatiara são responsáveis juntos por quase 20%, o que demonstra a oportunidade de redução de custo através dos portos do Arco Norte, mesmo com infraestrutura deficitária. A tabela 23 ilustra a participação de cada porto no escoamento da soja nos cenários base.

Tabela 23 – Participação na exportação – 2018.1, 2025.1 e 2030.1

Portos	Participação na exportação (%)		
	2018.1	2025.1	2030.1
Santos	45,8	44,2	44,2
Vila do Conde	19,9	19,2	19,2
Itacoatiara	8,8	8,5	6,5
Santarém	10,0	9,6	9,6
Itaqui	6,7	6,5	6,5
Paranaguá	7,5	7,3	5,7
Vitória	0,0	1,1	8,2
S. Francisco do Sul	1,3	3,7	0,0
Rio Grande	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autor (2021)

- Cenários 2018.2, 2025.2 e 2030.2

O resultado da modelagem dos cenários 2018.2, 2025.2 e 2030.2 inseriu redistribuiu a Ferrogrão no sistema, bem como aumentou em 50% a capacidade portuária do Arco Norte. Tal fato reduziu a participação dos portos do Sul e Sudeste. O transporte intermodal nesse cenário ainda foi predominado pelo modal rodoferrohidroviário, com a rota Sinop-Miritituba-Santarém e Vila do Conde

correspondendo a valores entre 42,4% e 44,7% do total. A rota Rondonópolis-Santos diminuiu consideravelmente sua participação, sendo responsável dentro do modal Rodoferroviário por cerca de 19,6% a 22,1% da carga, conforme a tabela 24 abaixo.

Tabela 24 - Intermodalidade dos cenários 2018.2, 2025.2 e 2030.2

Modal	Intermodalidade (%)		
	2018.2	2025.2	2030.2
Rodo	15,3	15,7	6,6
Rodoferro	26,7	28,4	29,2
Rodohidro	13,2	12,8	21,8
Rodoferrohidro	44,7	43,2	42,4

Fonte: Autor (2021)

A análise concluiu que o porto de Santos reduziu sua participação em cerca de 15% em detrimento do aumento da participação do porto de Vila do Conde, Itacoatiara, Santarém e Itaqui. Entretanto, os portos de Paranaguá e São Francisco do Sul que antes recebiam carga do Mato Grosso agora não mais as exportam. A importância do Arco Norte cresce apenas com o aumento da capacidade portuária. a tabela 25 ilustra esses percentuais.

Tabela 25 – Participação na exportação – 2018.2, 2025.2 e 2030.2

Portos	Participação na exportação (%)		
	2018.2	2025.2	2030.2
Santos	31,9	34,3	35,5
Vila do Conde	29,8	28,7	28,2
Itacoatiara	13,2	12,8	12,5
Santarém	15,0	14,4	14,2
Itaqui	10,1	9,7	9,6
Paranaguá	0,0	0,0	0,0
Vitória	0,0	0,0	0,0
S. Francisco do Sul	0,0	0,0	0,0
Rio Grande	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autor (2021)

- Cenários 2018.3, 2025.3 e 2030.3

A análise dos cenários 2018.3, 2025.3 e 2030.3 demonstrou que a inserção da Hidrovia Araguaia Tocantins aliada ao aumento em 50% da capacidade portuária do Arco Norte acarretou diminuição de custo e redistribuição modal significativa. Neste cenário, dentro do modal rodohidroviário a Hidrovia Araguaia-Tocantins correspondeu a 38% em 2018, 36,4% em 2025 e 30,2% em 2030, tal fato demonstra que a mesma perde importância à medida que os anos passam. A tabela 26 ilustra a redistribuição modal proposta pelo modelo.

Tabela 26 - Intermodalidade dos cenários 2018.3, 2025.3 e 2030.3

Modal	Intermodalidade (%)		
	2018.3	2025.3	2030.3
Rodo	21,5	21,0	6,6
Rodoferro	35,5	37,5	38,5
Rodohidro	43,0	41,5	54,9
Rodoferrohidro	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autor (2021)

De acordo com o modelo, nos cenários 2018.3, 2025.3 e 2030.3 o Porto de Santos ainda se configura como principal destino, mesmo com a implantação da Hidrovia Araguaia Tocantins, tal fato decorre da maior capacidade deste referido porto em relação aos portos do Arco Norte. Os Portos de Vila do Conde, Itacoatiara e Santarém correspondem juntos a valores entre 54,9% e 58% do total, conforme a tabela 27.

Tabela 27 – Participação na exportação – 2018.3, 2025.3 e 2030.3

Portos	Participação na exportação (%)		
	2018.3	2025.3	2030.3
Santos	31,9	34,3	35,5
Vila do Conde	29,8	28,7	28,2
Itacoatiara	13,2	12,8	12,5
Santarém	15,0	14,4	14,2
Itaqui	10,1	9,7	9,6
Paranaguá	0,0	0,0	0,0
Vitória	0,0	0,0	0,0
S. Francisco do Sul	0,0	0,0	0,0
Rio Grande	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autor (2021)

- Cenários 2018.4, 2025.4 e 2030.4

Os resultados dos cenários 2018.4, 2025.4 e 2030.4, demonstram que a inserção da Ferrogrão e Hidrovia Araguaia Tocantins aliadas ao aumento de 50% na capacidade portuária do Arco Norte reduzem significativamente o custo de transporte, bem como alteram a intermodalidade das rotas e participação portuária na exportação. Além disso, o modal rodohidroviário é o mais eficiente economicamente, com a Hidrovia Araguaia Tocantins transportando entre de 30,2% e 38,0% do total de carga transportada pelo modal rodohidroviário.

Ao levar em consideração intermodalidade, pode-se afirmar que em 2018 as mesmas são responsáveis por 93,5% do total transportado, já em 2025.4 este valor é de 93,4% e em 2030 é de 93,5%, ou seja, com a implantação da Ferrogrão e Hidrovia Araguaia Tocantins quase a totalidade da carga deixa de ser transportada unicamente pelo modal rodoviário. Além disso, a Ferrogrão transporta exclusivamente entre 15,2% e 16%. Desse modo, as rotas propostas são responsáveis por 47,9% do total em 2018, 46,2% em 2025 e 45,4% em 2030. A tabela 28 ilustra a intermodalidade nos cenários.

Tabela 28 - Intermodalidade dos cenários 2018.4, 2025.4 e 2030.4

Modal	Intermodalidade (%)		
	2018.4	2025.4	2030.4
Rodo	6,6	6,6	6,6
Rodoferro	35,5	37,5	38,5
Rodohidro	43,0	41,5	40,8
Rodoferrohidro	15,0	14,4	14,2

Fonte: Autor (2021)

Em relação à distribuição da carga entre os portos exportadores, a distribuição apresentou resultado semelhante aos dos cenários 2018.3, 2025.3 e 2030.3. Logo, o Porto de Santos ainda se apresentou como principal destino, mesmo com aumento de 50% na capacidade portuária do Arco Norte. A tabela 29 descreve a participação por porto no escoamento da produção.

Tabela 29 – Participação na exportação – 2018.4, 2025.4 e 2030.4

Portos	Participação na exportação (%)		
	2018.4	2025.4	2030.4
Santos	31,9	34,3	35,5
Vila do Conde	29,8	28,7	28,2
Itacoatiara	13,2	12,8	12,5
Santarém	15,0	14,4	14,2
Itaqui	10,1	9,7	9,6
Paranaguá	0,0	0,0	0,0
Vitória	0,0	0,0	0,0
S. Francisco do Sul	0,0	0,0	0,0
Rio Grande	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autor (2021)

- Cenários 2018.5, 2025.5 e 2030.5

O resultado da modelagem dos cenários 2018.5, 2025.5 e 2030.5 inseriu redistribuiu a Ferrogrão no sistema, bem como aumentou em 100% a capacidade portuária do Arco Norte. Tal fato reduziu a participação dos portos do Sul e Sudeste. O transporte intermodal nesse cenário foi predominado pelo modal rodoferrohidroviário, com a rota Sinop-Miritituba-Santarém e Vila do Conde correspondendo a valores entre 56,1% e 57,6% do total. A rota Rondonópolis-Santos diminuiu ainda mais a sua participação, sendo responsável 8,6% da carga, conforme a tabela 30 abaixo.

Tabela 30 - Intermodalidade dos cenários 2018.5, 2025.5 e 2030.5

Modal	Intermodalidade (%)		
	2018.5	2025.5	2030.5
Rodo	12,0	12,4	12,7
Rodoferro	21,0	20,5	20,3
Rodohidro	17,7	17,0	16,7
Rodoferrohidro	49,4	50,0	50,3

Fonte: Autor (2021)

A análise concluiu que o porto de Vila de Conde se estabelece como maior exportador da soja mato-grossense, com 34,8% em 2018, 36,7% em 2025 e 37,6% em 2030. Em segundo lugar está o Porto de Santarém, com percentuais entre 18,9% e 19,9% .Em seguida temos os Portos de Itacoatiara, Santos e Itaqui. A tabela 26 ilustra esses percentuais.

Tabela 31 – Participação na exportação – 2018.5, 2025.5 e 2030.5

Portos	Participação na exportação (%)		
	2018.5	2025.5	2030.5
Santos	14,1	14,1	14,1
Vila do Conde	34,8	36,7	37,5
Itacoatiara	17,7	17,0	16,7
Santarém	19,9	19,2	18,9
Itaqui	13,5	13,0	12,8
Paranaguá	0,0	0,0	0,0
Vitória	0,0	0,0	0,0
S. Francisco do Sul	0,0	0,0	0,0
Rio Grande	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autor (2021)

- Cenários 2018.6, 2025.6 e 2030.6

A análise dos cenários 2018.6, 2025.6 e 2030.6 demonstrou que a inserção da Hidrovia Araguaia Tocantins aliada ao aumento de 100% da capacidade portuária do Arco Norte alterou a matriz de transporte. Neste cenário a Hidrovia Araguaia-Tocantins correspondeu a 54,0% em 2018, 51,6% em 2025 e 40,3% em 2030, tal fato demonstra que com o aumento de 100% no Arco Norte a Hidrovia Araguaia Tocantins aumentou sua participação em 16,0% em 2018, 15,2% em 2025 e 10,1% em 2030. A tabela 32 ilustra a redistribuição modal proposta pelo modelo.

Tabela 32 - Intermodalidade dos cenários 2018.6, 2025.6 e 2030.6

Modal	Intermodalidade (%)		
	2018.6	2025.6	2030.6
Rodo	26,5	26,4	6,6
Rodoferro	16,1	17,1	20,2
Rodohidro	57,4	56,6	73,2
Rodoferrohidro	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autor (2021)

De acordo com o modelo, nos cenários 2018.6, 2025.6 e 2030.6 o Porto de Santos correspondeu a valores entre 11,3% e 14% entre 2018 e 2030. Já o Porto de Vila do Conde se confirmou como o maior porto exportador da soja do Mato Grosso, com percentuais entre 39,7% e 37,6%. Em seguida vem os Portos de Santarém, Itacoatiara e Itaqui com valores entre 48,4% e 49,2%, conforme a tabela 32.

Tabela 33 – Participação na exportação – 2018.6, 2025.6 e 2030.6

Portos	Participação na exportação (%)		
	2018.6	2025.6	2030.6
Santos	11,3	12,4	14,0
Vila do Conde	39,7	38,3	37,6
Itacoatiara	17,7	17,0	16,7
Santarém	19,9	19,2	18,9
Itaqui	11,4	13,0	12,8
Paranaguá	0,0	0,0	0,0
Vitória	0,0	0,0	0,0
S. Francisco do Sul	0,0	0,0	0,0
Rio Grande	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autor (2021)

- Cenários 2018.7, 2025.7 e 2030.7

Os resultados dos cenários 2018.7, 2025.7 e 2030.7, demonstram que a inserção da Ferrogrão e Hidrovia Araguaia Tocantins aliadas ao aumento de 100% na capacidade portuária do Arco Norte otimizam a logística de escoamento da soja do Mato Grosso, bem como alteram a intermodalidade das rotas e participação portuária na exportação. Além disso, no ano de 2018 a Ferrogrão é responsável por 29% e a Hidrovia Araguaia Tocantins, porém, já em 2025 a Ferrogrão transporta 22,4% e a Hidrovia Araguaia Tocantins é responsável por 35,7%.

Já em 2030, a Hidrovia transporta o dobro da Ferrovia, com 40,3% ante 20,2% respectivamente. Para a intermodalidade, afirma-se que em 2018 as mesmas são responsáveis por 93,4%. Por fim, as rotas propostas são responsáveis por 50,8% do total em 2018, 58,1% em 2025 e 60,5% em 2030. A tabela 34 ilustra o percentual de utilização por modal nos cenários.

Tabela 34 - Intermodalidade dos cenários 2018.7, 2025.7 e 2030.7

Modal	Intermodalidade (%)		
	2018.6	2025.6	2030.6
Rodo	6,6	6,6	6,6
Rodoferro	16,1	18,9	20,2
Rodohidro	57,4	55,3	54,3
Rodoferrohidro	19,9	19,2	18,9

Fonte: Autor (2021)

Em relação à distribuição da carga entre os portos exportadores o Porto de Vila do Conde se apresentou como principal porto exportador, com valores entre 37,6% e 39,7%. Em seguida temos os porto Santarém, Itacoatiara. Em 2025 o Porto de Itaqui ultrapassa o Porto de Santos, assumindo a quarta posição, porém em 2030 o Porto

de Santos retoma tal posição. A tabela 35 descreve a participação por porto no escoamento da produção.

Tabela 35 – Participação na exportação – 2018.7, 2025.7 e 2030.7

Portos	Participação na exportação (%)		
	2018.7	2025.7	2030.7
Santos	11,3	12,4	14,0
Vila do Conde	39,7	38,3	37,6
Itacoatiara	17,7	17,0	16,7
Santarém	19,9	19,2	18,9
Itaqui	11,4	13,0	12,8
Paranaguá	0,0	0,0	0,0
Vitória	0,0	0,0	0,0
S. Francisco do Sul	0,0	0,0	0,0
Rio Grande	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autor (2021)

Através da análise dos cenários, foi observado que o ano ideal para a implantação dos empreendimentos Ferrogrão e adequação total da Hidrovia Araguaia-Tocantins seria 2030, considerando, majoritariamente, a redução de custo de transporte. Em um horizonte de 5 a 10 anos, proposto por esta pesquisa, a porcentagem de redução de custo diminui, porém ainda se mostra válida para a implantação das novas rotas. A tabela 36 resume a participação dos portos em todos os cenários analisados e demonstra a importância do Arco Norte.

Tabela 36 – Participação na exportação – Todos os cenários

Portos	Participação na exportação (%)																				
	2018							2025							2030						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
SAN	45,8	31,9	31,9	31,9	14,1	11,3	11,3	44,2	34,3	34,3	34,3	14,1	12,4	12,4	44,2	35,5	35,5	35,5	14,1	14,0	14,0
VDC	19,9	29,8	29,8	29,8	34,8	39,7	39,7	19,2	28,7	28,7	28,7	36,7	38,3	38,3	19,2	28,2	28,2	28,2	37,5	37,6	37,6
ITC	8,8	13,2	13,2	13,2	17,7	17,7	17,7	8,5	12,8	12,8	12,8	17,0	17,0	17,0	6,5	12,5	12,5	12,5	16,7	16,7	16,7
STR	10,0	15,0	15,0	15,0	19,9	19,9	19,9	9,6	14,4	14,4	14,4	19,2	19,2	19,2	9,6	14,2	14,2	14,2	18,9	18,9	18,9
ITQ	6,7	10,1	10,1	10,1	13,5	11,4	11,4	6,5	9,7	9,7	9,7	13,0	13,0	13,0	6,5	9,6	9,6	9,6	12,8	12,8	12,8
PAR	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
VIT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SFS	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RGR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Autor (2021)

É possível observar que de acordo com o modelo, o Porto de Santos vem diminuindo sua participação na exportação da soja do Mato Grosso nos próximos anos, com uma redução de até 31,8%. Já em relação aos portos do Arco Norte, a participação dos mesmos que nos cenários base correspondia a aproximadamente 45%, e com as simulações, esse valor aumentou para 86%. Além disso, observa-se que o porto do Rio Grande é dispensável para o escoamento da soja do Mato Grosso em todos os cenários.

Por fim, os portos de Paranaguá, Vitória e São Francisco do Sul se restringem a exportar somente nos cenários base, os quais não possuem as propostas de rota e manutenção da capacidade portuária. Logo, de acordo com o modelo, dos 9 principais portos que escoam a soja do Mato Grosso atualmente, apenas 5 deveriam permanecer movimentando esta carga e portanto, com a exceção do Porto de Santos, os demais portos do sul e sudeste devem priorizar o escoamento da soja de outros estados, como Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraná e Rio Grande do Sul.

5.3 RESULTADO DA ANÁLISE CUSTO EFETIVIDADE (ACE)

Aplicando-se os pesos aos benefícios foi realizado o cálculo do benefício total de cada projeto para cada um dos seis critérios avaliados. Por fim, foram definidas dezoito ordens de prioridade, não necessariamente diferentes, conforme ilustra a tabela 37.

Tabela 37 – Ordem de prioridade de implantação dos projetos

Prioridade	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5	Critério 6
1	2030.7	2030.6	2030.6	2030.6	2030.6	2030.6
2	2030.6	2025.6	2030.7	2018.7	2018.7	2025.6
3	2025.6	2018.7	2030.4	2018.6	2025.6	2030.7
4	2030.4	2025.7	2025.6	2025.6	2030.4	2018.7
5	2025.7	2030.7	2018.7	2030.7	2018.6	2018.6
6	2030.5	2025.3	2025.3	2025.3	2030.7	2030.3
7	2030.3	2018.6	2018.6	2030.3	2025.3	2025.3
8	2025.3	2025.4	2025.4	2030.4	2030.3	2030.4
9	2018.7	2018.4	2018.5	2018.4	2018.3	2030.5
10	2025.4	2030.3	2030.3	2030.5	2018.4	2018.4
11	2018.6	2030.4	2030.4	2018.2	2025.7	2025.7
12	2030.2	2030.5	2030.5	2018.5	2018.2	2018.2
13	2025.5	2018.5	2018.5	2025.7	2030.5	2018.5
14	2018.4	2018.2	2018.2	2025.4	2018.5	2025.4
15	2025.2	2025.5	2025.5	2030.2	2025.4	2030.2
16	2018.5	2025.2	2025.2	2025.2	2030.2	2025.2
17	2018.2	2030.2	2030.2	2018.3	2025.2	2025.5
18	2018.3	2018.3	2018.3	2025.5	2025.5	2018.3

Fonte: Autor (2021)

Conforme a tabela 37, o cenário 2030.6 ofereceu os maiores benefícios em termos econômicos e socioambientais. Logo, a implantação da Hidrovia Araguaia Tocantins aliada a um aumento de 100% na capacidade do Arco Norte e mais viável do ponto de vista da ACE dentre todos os cenários avaliados, com exceção do critério, visto que a implantação da Ferrogrão juntamente com a Hidrovia Araguaia Tocantins possibilita uma maior redução de custos do que a implantação da Hidrovia apenas.

Em relação a segunda prioridade, os cenários 2025.6 e 2018.7 apresentaram resultados semelhantes. Dentre as prioridades 3 a 18 houve empate entre os cenários apesar da variabilidade de pesos entre os critérios. Logo, é possível concluir que mesmo com a grande discrepância entre os pesos houve predominância de cenários entre os critérios avaliados nas primeiras e últimas prioridades, sendo estes cenários 2030.6 e 2018.3.

Entre os critérios onde o retorno socioambiental possuiu peso maior, os cenários que apresentaram as rotas intermodais juntas foram melhor classificados, tendo em vista a redução de emissão de CO₂ e eficiência energética. Nos critérios onde o retorno econômico possui maior preponderância, os cenários com a Ferrogrão foram melhor classificados pois a mesma proporciona menores custos do que a Hidrovia, ainda que por um percentual pequeno.

Tais fatos demonstram que a implementação da Ferrogrão e da Hidrovia Araguaia-Tocantins terá um retorno maior com a ampliação de 100% da capacidade portuária do Arco Norte, porém, ainda com um aumento de apenas 50% ainda é vantajosa a implementação de tais obras. Além disso, a ACE também conclui que a partir de 2018, um aumento de 33% na exportação, cerca de 10 milhões de toneladas de soja, já promove a rentabilidade do investimento, tal valor é tido como o crescimento esperado entre os anos de 2018 e 2025.

Portanto, a metodologia ACE possui resultados quantitativos e qualitativos, e o gestor pode analisar as opções de acordo com seus objetivos e tomar sua decisão. Existe então, um componente subjetivo na tomada de decisão, que deve ser analisado com atenção por quem for decidir acerca da execução do projeto. Porém, em muitas análises de projetos a análise do aspecto social e ambiental é ignorada com a busca apenas pelo retorno econômico, e por este motivo, esta metodologia se estabelece como versátil, pois fornece subsídios tanto à gestores privados, onde o retorno financeiro é o mais buscado, quanto à gestores públicos, que analisam os demais impactos à população e ao ecossistema onde o empreendimento será implantado.

Por fim, conclui-se que, pelo fato de a subjetividade estar presente na metodologia, o fato de um projeto ter sido indicado como prioridade 1 não significa necessariamente que o gestor deva se basear apenas nessa prerrogativa, sem observar outras opções. Uma alternativa pode não parecer rentável em um primeiro momento, porém ao longo dos anos se tornar viável, principalmente em projetos de infraestrutura, a exemplo da Ferrogrão, que possui um período de concessão de 65 anos.

6 CONCLUSÃO

O modelo de transporte demonstrou a potencial redução de custo que a implantação da Ferrogrão e a Hidrovia Araguaia-Tocantins podem trazer à logística de escoamento da soja mato-grossense. Os valores, que em 2018 são da ordem de R\$ 900 milhões, podem chegar a R\$ 3,7 bilhões em 2030, correspondem a dez vezes o custo de adequação à exportação da infraestrutura do estado do Mato Grosso.

Os custos utilizados possuem um peso prioritariamente ligado à variável econômica, porém, de maneira indireta, aspectos socioambientais são encontrados nos custos, visto que um frete é composto de vários componentes, como tempo de viagem, aspectos operacionais sistema de transporte, condições do pavimento, impostos e tributos, tempo de atracação, produtividade média de carga e descarga, tempo de transbordo, entre outros.

A avaliação da intermodalidade demonstrou que hoje existe a predominância do transporte rodoferroviário nas rotas para o corredor Sudeste/Sul, sendo o trecho entre Rondonópolis-Santos o mais representativo. Já as rotas hidroviárias, por questões naturais, possuem maior predominância no corredor Norte/Nordeste, utilizando as bacias Amazônica e Tocantins-Araguaia. Um fato importante é que apenas o aumento da capacidade portuária do Arco Norte já altera significativamente a matriz de escoamento de transporte, com reduções significativas do uso do transporte rodoviário, e por consequência, do custo total.

A utilização portuária também foi alterada significativamente de acordo com o modelo, reclassificando os portos e distribuindo as cargas entre os que mais se aproximam da região norte. Desse modo, os portos ao sul e sudeste, como Vitória, Paranaguá, São Francisco do Sul e Rio Grande devem receber a soja de outras regiões que não o Mato Grosso, como Goiás, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A exceção é o porto de Santos, pois o mesmo apresenta uma logística mais eficaz em relação aos outros portos, principalmente pelo uso do modal rodoferroviário e, aliado a este fato, a capacidade portuária também beneficia a logística desse complexo portuário.

Ao analisar os resultados do modelo de transporte, observa-se que o melhor ano para a implantação dos empreendimentos é 2030 com a implantação da Ferrogrão e da Hidrovia Araguaia Tocantins e aumento de 100% na capacidade portuária do Arco Norte. Já o modelo de análise custo efetividade também demonstra

que o ano de 2030 é o mais propício para o benefício econômico e social, porém considerando apenas a Ferrogrão e o aumento de 100% na capacidade do Arco Norte. A principal causa disso é que em um projeto de uma obra de infraestrutura, muitos aspectos devem ser levados em consideração, dentre eles, os benefícios sociais e também econômicos, principalmente se a obra for de responsabilidade do ente público, pois o mesmo deve preocupar-se com o bem-estar da população também, e não apenas com os possíveis ganhos econômicos. Além disso, a implantação da Ferrogrão inevitavelmente já associa o modal ferroviário e hidroviário possibilitando por si só uma redução de custo mais acentuada. Logo, a interface quali-quantitativa em métodos de investimentos demonstra-se eficaz no que tange às obras de infraestrutura, principalmente se as mesmas forem de interesse nacional.

Se levarmos em consideração a eficiência energética da multimodalidade em um cenário onde, no Brasil, 48% das emissões de CO_2 são oriundas do transporte, o ganho ambiental é enorme. Além disso, a redução de caminhões das estradas brasileiras também propicia grandes ganhos, visto que os mesmos são responsáveis por grande parte dos acidentes em rodovias, bem como desgaste no pavimento. Logo, os benefícios de se investir em obras de infraestrutura que aproveitem outros modais além do rodoviário são enormes e podem propiciar grandes vantagens logísticas ao país. Porém, destaca-se que embora o modal rodoviário possa ser reduzido no sistema global de transporte, o mesmo ainda é necessário no escoamento da soja, visto que, dada sua característica intrínseca de transporte porta-a-porta, aliado às condições que naturalmente favorecem o respectivo modal, não há como não o utilizar em alguma das etapas da logística de transporte.

Vale ressaltar que embora este trabalho buscasse avaliar o sistema logístico a partir de diversas variáveis, muitas ficaram de fora, seja por ausência de dados ou por própria intenção de analisar unilateralmente os aspectos de um projeto. Sabe-se que a parte tributária é peça chave na precificação da soja, bem como o mercado de insumos, que é negociado internacionalmente. Além disso, é possível destacar que a expansão da fronteira agrícola vem ocorrendo de maneira agressiva nos últimos anos, e portanto, no horizonte pesquisado neste trabalho, diversos empreendimentos estão previstos em várias regiões do país, e tais projetos certamente irão interferir na matriz de escoamento de soja do Mato Grosso, a exemplo da Ferrovia de Integração Centro-Oeste (FIOL), que pretende ligar Vilhena (RO) à Ferrovia Norte Sul (FNS), e além disso, outro cenário possível, e provável, é a duplicação da BR-163.

De maneira geral, todos os objetivos deste estudo foram alcançados. Ao analisar a influência do transporte hidroviário e ferroviário na logística de escoamento da soja, obtiveram-se dados e informações que poderão subsidiar projetos e políticas públicas. Tais fatos podem evitar gastos extras, principalmente em um país com histórico de desequilíbrio nas contas públicas e falhas na gestão de obras de infraestrutura. Além disso, é possível afirmar que tal estudo pode contribuir com a política de transporte e meio ambiente, dando suporte aos tomadores de decisão da região, bem como auxiliar no desenvolvimento de regiões historicamente mais deficientes, como as regiões norte e nordeste.

7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

As análises de expansão do cultivo da soja nos últimos anos refletem a necessidade de investimentos em alternativas de transporte, em diversos modais, logo, com a decorrência de novas áreas de plantio, novos projetos de infraestrutura e novas rotas irão surgir no horizonte de tempo e devem ser incluídas na análise da logística de escoamento da soja do Mato Grosso.

Ao desenvolver um problema de otimização em Programação Linear, baseado em custo de transporte, utiliza-se majoritariamente o frete multimodal. Porém, a discretização de outras variáveis como tempo de viagem, tempo de espera no porto, carga tributária, possíveis reduções de acidentes, entre outros, deve ser inserida de modo a fornecer novas perspectivas de análise que fogem ao viés puramente econômico e englobem outros aspectos. Além disso, tendo em vista o posicionamento do governo federal em busca de uma economia mais liberal, uma possível análise financeira, considerando indicadores diferentes no cálculo da Análise Custo Efetividade, como Parcerias Público-Privadas (PPPs) pode ser realizada.

Outro trabalho que pode ser realizado diz respeito à avaliação da projeção do consumo interno da soja e seu impacto na exportação. Métodos como Redes Neurais Artificiais e Algoritmos Genéticos podem ser utilizados para analisar os possíveis cenários futuros, agregando possíveis variáveis como condições do mercado internacional e variações de demanda portuária. Sugere, por fim, realizar também uma análise acerca da possível atratividade de empregos e investimentos na região do Arco Norte em detrimento da implantação dos empreendimentos Ferrogrão e Hidrovia Araguaia-Tocantins, e seu impacto na economia regional e nacional, e de maneira geral, todos os objetivos deste estudo foram alcançados.

Ao analisar a influência do transporte hidroviário e ferroviário na logística de escoamento da soja, obtiveram-se dados e informações que poderão subsidiar projetos e políticas públicas. Tais fatos podem evitar gastos extras, principalmente em um país com histórico de desequilíbrio nas contas públicas e falhas na gestão de obras de infraestrutura. Além disso, é possível afirmar que tal estudo pode contribuir com a política de transporte e meio ambiente, dando suporte aos tomadores de decisão da região, bem como auxiliar no desenvolvimento de regiões historicamente mais deficientes, como as regiões norte e nordeste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHIAA, A. **Transshipment problem in supply chain: Case study: Juaben Oil Mills Ltd.** Dissertação de Mestrado. Kwame Nkrumah University of Science and Technology. Gana. 2011.

ADLER, H.A. **Avaliação econômica de projetos de transportes: metodologia e exemplos.** Livros Técnicos e Científicos: Rio de Janeiro ? RJ, 170p., 1978.

AGER. Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados. **Rodovias pedagiadas.** Disponível em: <http://www.ager.mt.gov.br/rodovias-pedagiadas>. Acesso em: 10 fev 2021.

ANTAQ. Agência Nacional de Transporte Aquaviário. **Anuário Estatístico 2019.** Brasília, Distrito Federal. 2020.

ANTAQ. Agência Nacional de Transporte Aquaviário. **Estatístico Aquaviário.** Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/ANUARIO/>. Acesso em: 20 fev 2021.

ANTAQ. Agência Nacional de Transporte Aquaviário. **Notícias.** Disponível em: <http://portal.antaq.gov.br/index.php/2019/06/18/diretor-da-antaq-fala-sobre-a-importancia-do-arco-norte-em-audiencia-nosenado>. Acesso em: 22 jan 2021.

ANTAQ. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Plano Nacional de Integração Hidroviária.** Brasília, Distrito Federal, 2013.

ASSIS, T. F.; LOPES, D. M. M.; PEDRO, L. M.; SILVA, M. A. V. **Revisão sistemática de estudos de viabilidade em transporte: uma contribuição para o transporte hidroviário.** GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Ano 12, n.4, p. 1-31, 2017.

BALDWIN, R. E.; FORSLID, R. **The core periphery model and endogenous growth: Stabilizing and destabilizing integration.** *Economica*, v. 67, n. 267, p. 307-324, 2000.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia logística - Logística Empresarial.** Porto Alegre: Ed. Bookman, 2005.

BANISTER, D.; BERECHMAN, J. **Transport investment and economic development.** Psychology Press, 2000.

BARON, C. **Utilização de softwares na pesquisa operacional.** *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, v.4, p. 152-170, 2017.

BELFIORE, P.; FÁVERO, L.P. **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia.** Elsevier Brasil, 2013.

BERTUSSI, G. L.; ELLERY JUNIOR, R. **Infraestrutura de transporte e crescimento econômico no Brasil**. Journal of Transport Literature, vol. 6, n. 4, pp. 101-132. 2012.

BORGES JÚNIOR, D. M.; PINTO, K. C. R. **Rede de fluxo de custo mínimo dos grãos de soja do vetor centro-sudeste do Brasil para a exportação**. In: XVIII Simpósio de Pesquisa Operacional & Logística da Marinha, p. 824-835, 2016.

BUCKER, S. L. **Design da cadeia de suprimentos de fertilizante: aplicação do modelo de otimização**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019.

BRANCO, M. C. **Análise custo-efetividade: sua aplicação como auxílio para a definição de políticas de regulamentação do uso de agrotóxicos**. Dissertação de mestrado. Departamento de Economia. Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

BRASIL. **Lei nº 12.815, de 5 de junho de 2013**. Diário Oficial da União. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12815.htm. Acesso em: 28 fev 2021.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Arco Norte: o desafio logístico**. Centro de Estudos e Debates Estratégicos. Brasília, Distrito Federal. 2016.

BRASIL. Senado Federal. Instituição Fiscal Independente. **Relatório de Acompanhamento Fiscal: Contexto Macroeconômico**. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/564604/RAF34_NOV2019_Contexto_Macro.pdf. Acesso em: 06 mai 2020.

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

CAIXETA FILHO. J.V.; GAMEIRO, A. H. **Transporte e Logística em Sistemas Agroindustriais**. Editora Atlas, p. 218, São Paulo, 2001.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 15 mai 2021.

CICCONE, A.; HALL, Robert E. **Productivity and the density of economic activity**. The American economic review, p. 54-70, 1996.

CLM. Council of Logistics Management. **Supply Chain Management Definitions and Glossary**. 2015. Disponível em: https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/.aspx. Acesso em: 01 mar 2020.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de Rodovias 2019**. Brasília, Distrito Federal, 2019.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Plano CNT de Transporte e Logística 2018**. Brasília, Distrito Federal, 2019.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Transporte & Desenvolvimento: Entraves Logísticos ao escoamento de Soja e Milho**. Brasília, Distrito Federal. 2015.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Transporte e economia: o sistema ferroviário brasileiro**. Brasília, Distrito Federal, 2013.

CNT. Confederação Nacional do Transporte. 2019. **Perspectivas para o futuro da logística brasileira**. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-apresenta-perspectivas-futuro-logistica-brasileira-intermoda>. Acesso em: 06 jan 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Observatório Agrícola. v.7. Brasília, Distrito Federal. 2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Indicadores da Agropecuária**. Observatório Agrícola. Ano XXVIII, n. 10. Brasília, Distrito Federal. 2019.

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, SP, vol. 48, nº 02, p. 447-472, abr/jun 2010.

DANAO, M. C.; ZANDONADI, R. S & GATES, R. S. **Development of a grain-monitoring probe to measure temperature, relative humidity, carbon dioxide levels and logistical information during handling and transportation of soybeans**. Computer and Electronics in Agriculture. n. 119, p. 74-82. 2015.

DANTZIG, G. B. **Linear programming and extensions**. Princeton University press, 1998.

DANTZIG, G. B. **Origins of the simplex method**. In: A history of scientific computing . 1990. p. 141-151.

DASKIN, M. S. **Logistics: an overview of the state of the art and perspectives on future research**. Transportation Research A, v.19, n.5/6. 1985.

DI SIERVO, J. S. **Aplicação de Programação Linear na Seleção de Carteiras de Investimento**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2017.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Hidrovia do Araguaia-Tocantins**. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/modais-2/aquaviario/hidrovia-do-tocantins-araguaia>. Acesso em: 06 mai 2020.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **O Derrocamento do Pedral do Lourenço e seu Impacto na Logística Intermodal de Transporte via Hidrovia Araguaia-Tocantins**. Diretoria de Infraestrutura Aquaviária.

Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/modais-2/aquaviario/hidrovia-do-tocantins-araguaia>. Acesso em: 06 mai 2020.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Investimentos no Arco Norte**. Brasília, Distrito Federal, 2020.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Sistema Nacional de Viação e Plano Nacional de Viação**. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/atlas-e-mapas/pnv-e-snv>>. Acesso em: 6 fev 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Macrologística da Agropecuária Brasileira: Delimitação das Bacias Logísticas**. Campinas, São Paulo, 2016.

EPL. Empresa de Planejamento e Logística. **Simulador de custo de transporte**. 2018. Disponível em: <<https://www.epl.gov.br/plano-nacional-de-logistica-pnl>>. Acesso em: 04 mar 2021.

ELP. ESTAÇÃO DA LUZ. **Estudos complementares do EVTEA da Ferrogrão**. São Paulo, 2016.

FERNALD, J. G. **Roads to prosperity? Assessing the link between public capital and productivity**. American economic review, v. 89, n. 3, p. 619-638, 1999.

FERREIRA, E.V. Movimento Pró-Logística do Mato Grosso. **A Importância do Arco Norte na Competitividade da Exportação Agropecuária**. Hidroviáveis Brasília 2017. Brasília, Distrito Federal. 2017.

FERREIRA, P. C. **Investimento em Infraestrutura no Brasil: fatos estilizados e relações de longo prazo**. In: Pesquisa e Planejamento Econômico. 26 (2), 231-252. 1996.

FERREIRA, P. C.; MALLIAGROS, T.G. **Impactos Produtivos da Infraestrutura no Brasil - 1950/95**. 1998.

FIESP. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Safra Mundial de Soja**. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-soja/>. Acesso em: 27 mai 2021.

FIGUEIREDO, A.M.; DOS SANTOS, M. L.; LIRIO, V.S. **Análise de market-share e fontes de variação das exportações brasileiras de soja**. Revista de Economia e Agronegócio - REA. v.2, n.3, 2015.

FIGUEIREDO, K. F.; PEREIRA, L. **Serviços oferecidos pelas ferrovias brasileiras**. In: FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos. São Paulo: Atlas S.A., 2009. Cap. 19. P. 257-267.

FONSECA, M. N.; OITICICA, A. C. R.; PAMPLONA, E. O.; VALERIO, V. E. M.; AQUILA, G.; ROTELA JUNIOR, P. **Analysis of the impact of uncertainties on public-private partnerships: a real case in the area of public transport.** Brazilian Applied Science Review, v.2, n.2, p. 532-549, 2018.

GOES, L.F.C; LOPES, H. **Modelo de Otimização para a Logística de Exportação da Soja do MATOPIBA.** XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Maceió, Alagoas. 2018.

GROOTE, P., JACOBS, J., STURM, J.E., 1999. **Output effects of infrastructure investment in the Netherlands 1853-1913.** J. Macroecon. 21, 355-380.

GUNASEKERA, K.; ANDERSON, W.; LAKSHMANAN, T. R. **Highway-induced development: evidence from Sri Lanka.** World Development, v. 36, n. 11, p. 2371-2389, 2008.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional.** 8 ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2006.

HIRAKURI, M. H; LAZZAROTTO, J. J. **Evolução e perspectivas de desempenho econômico associadas com a produção de soja nos contextos mundial e brasileiro.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Londrina, Paraná, 2011.

HONG, J.J., 2007. **Transport and the location of foreign logistics firms: the Chinese experience.** Transp. Res. A 41, 597-609.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 14 abr 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2018.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html=&t=resultados>. Acesso em: 08 jan 2020.

IMEA. Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária. **Análise da Área de Influência e do Fluxo de Carga nas Rodovias Estaduais.** Mato Grosso, 2014.

IMEA. Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária. **Agronegócio no Brasil e em Mato Grosso - 2019/2020.** Disponível em: <http://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado>. Acesso em: 07 mai 2020.

KHADAROO, A. J.; SEETANAH, B. **Transport infrastructure and foreign direct investment.** Journal of International Development: The Journal of the Development Studies Association, v. 22, n. 1, p. 103-123, 2010.

KHURANA, A. **Variants of transshipment problem.** European Transportation Research Review. v. 7, n. 2, p. 11, 2015.

KRUGMAN, P, 1991. **Increasing returns and economic geography**. J. Polit. Econ. 99, 483-499.

LEAL JUNIOR, I. C. et al. **Análise da matriz de transporte brasileira: consumo de energia e emissão de CO₂**. UNIABEU, Belford Roxo, v. 8, n. 18, jan/abr 2015.

LANG, A. E. **As Ferrovias no Brasil e Avaliação Econômica de projetos: Uma aplicação em projetos ferroviários**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

LEAN, H. H.; HUANG, W.; HONG, J. **Logistics and economic development: Experience from China**. Transport Policy, v. 32, p. 96-104, 2014.

LEVIN, H. M. **Cost-effectiveness Analysis**. International Encyclopedia of Economics of Education, 2: ed, pp. 381-386. 1995.

LOPES, H. S. **Análise do Escoamento da Soja Brasileira Através da Simulação a Eventos Discretos**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais. 2017.

MAEDA, M. I. **Infraestrutura de Transporte Rodoviário: Uma análise custo-efetividade de passagens de fauna inferiores - estudo de caso**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Economia. Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2029/29 - Projeções a Longo Prazo**. Brasília, Distrito Federal. 2019.

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Dados estatísticos 2018**. Disponível em: comexstat.mdic.gov.br/pt/home. Acesso em: 12 dez 2019.

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Dados estatísticos 2020**. Disponível em: comexstat.mdic.gov.br/pt/home. Acesso em: 24 mai 2021.

MINFRA. Ministério da Infraestrutura. **Anuário Estatístico do Transporte 2010-2018**. Brasília, Distrito Federal. 2019.

MIYABUKURO, S. B. **Estudo da análise de custo-efetividade no planejamento de políticas públicas público-privadas de longo prazo integrada à análise de custo-benefício**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

MOREIRA, R. **Avaliação de projetos de transportes utilizando análise benefício custo e método de análise hierárquica**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Campinas. Campinas, São Paulo. 2000.

MOTTA, R. S. **Utilização de critérios econômicos para a valorização da água no Brasil**. IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 1990. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_0556.pdf. Acesso em: 15 fev 2021.

MOVIMENTO PRÓ LOGÍSTICA. Federação da Agricultura e Pecuária de Mato Grosso. **Logística em Mato Grosso**. Mato Grosso, 2014.

MT. Ministério dos Transportes. **Plano Hidroviário Estratégico**. Brasília, Distrito Federal. 2013.

MTPA. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. **Corredores Logísticos Estratégicos: Complexo de Soja e Milho**. v.1, Brasília, 2017.

OLIVEIRA, A. L. R.; MASCARENHAS C.; LOPES, B. F. R. & MORINI, C. **Aplicação de modelagem matemática para otimização da logística de exportação do milho do Estado do Mato Grosso**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, 8(3), p. 505-522. 2015.

OLIVEIRA, A. L.; CICOLIN, L.; DOS SANTOS, M. C. **Estimativa do custo rodoviário da soja: uma análise da rota Sorriso-Santos**. Revista de Economia e Agronegócio-REA, v. 11, n.2, 2015.

OLIVEIRA, R.W. **Direito Dos Transportes Ferroviários**. Lúmen Juris, Rio de Janeiro. 2005.

OLIVEIRA, E. D.; CARRARO, N.C. **Analysis of Behavior and Agribusiness Participation in the Composition of the Brazilian Gross Domestic Product (GDP): A Study of the Temporal Series from 1996 to 2017**. Brazilian Journal of Development. v.5, n.11, p. 24042-24064, Curitiba, Paraná. 2019.

OLIVEIRA, J. M. **Custo-efetividade de políticas de redução do tamanho da classe e ampliação da jornada escolar: uma aplicação de estimadores de matching**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Economia. Universidade de São Paulo. 2010.

PASSOS, A. N. **Estudos em Programação Linear**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

PIDD, M. **Tools for thinking: modelling in management science**. 4.ed. Chichester: Joan Wiley & Sons, 2000.

PINTO, L. L.; MENEZES, M. A. F. **Implementação de Algoritmos Simplex e Pontos Interiores para Programação Linear**. Estudos, Goiânia, v. 35, p. 225-246, mar/abr. 2008.

PNLP. Plano Nacional de Logística Portuária. **3 Ciclo de planejamento portuário 2015-2019**. Ministério da Infraestrutura. Brasília, Distrito Federal, 2019.

PNLP. **Plano Nacional de Logística Portuária. PNL - 2019.** Ministério da Infraestrutura. Brasília, Distrito Federal, 2019.

POMPERMAYER, F. M.; CAMPOS NETO, C. A. S.; SOUSA, R. A. F. **Considerações sobre os marcos regulatórios do setor ferroviário brasileiro-1997-2012.** IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2012.

PPI. **Programa de Parcerias de Investimento** . Governo Federal. Disponível em: <https://www.ppi.gov.br/sobre-o-programa>. Acesso em: 06 mai 2020.

PPI. **Programa de Parcerias de Investimento. EF170 - Ferrogrão** . Disponível em: <https://www.ppi.gov.br/ef-170-mt-pa-ferrograo>. Acesso em: 06 mai 2020.

PPI. Programa de Parcerias de Investimento. **Obras de Dragagem e Derrocamento do Pedral do Lourenço** . Disponível em: <https://www.ppi.gov.br/apoio-ao-licenciamento-ambiental-do-pedral-do-lourenco-dragagem-e-derrocamento-da-via-navegavel-do-rio-tocantins>. Acesso em: 06 mai 2020.

RAISER, M.; CLARKE, R.; PROCEE, P.; BRICEÑO-GARMENDIA, C. KIKONI, E.; KIZITO, J., VIÑUELA, L. **De Volta ao Planejamento: como preencher a lacuna de Infraestrutura no Brasil em Tempos de Austeridade.** The World Bank, 2017.

RESENDE, E. S.; BONJOUR, S. C. M. & FIGUEIREDO, A. M. R. **Análise de Rotas Alternativas de Transporte: o caso da soja do Mato Grosso.** Revista de Estudos Sociais. v. 1 e 2, n. 9, p. 99-124, 2007.

RIGOLON, F. **O investimento em infraestrutura e a retomada do crescimento econômico sustentado.** Pesquisa e Planejamento Econômico, v.28, n.1, p.129-158. 1998.

ROCHA, F.V. **Análise de eficiência dos projetos de investimento em infraestrutura multimodal para o transporte da soja no Brasil.** Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo. 2020.

ROLLER, L.H.; WAVERMAN, L. **Telecommunications infrastructure and economic development: A simultaneous approach.** American economic review, v. 91, n. 4, p. 909-923, 2001.

RONCHI, R. D. C.; MOURA, G. A.; ROCHA, C. H. **Mensuração do custo social subjacente à atual frota autônoma de caminhões da agropecuária nacional-um estudo de caso: soja, café e boi em pé.** Journal of Transport Literature, v. 7, n. 2, p. 52-77, 2013.

SAIDI, S. et al. **Dynamic linkages between transport, logistics, foreign direct investment, and economic growth: empirical evidence from developing countries.** Transportation Research Part A: Policy and Practice, v. 141, p. 277-293, 2020.

SALIN, D. United States Department of Agriculture. **Brazil Soybean Transportation Indicator Reports**. 2019. Disponível em: <https://www.ams.usda.gov/services/transportation-analysis/brazil-archive>. Acesso em: 14 fev 2020.

SHIRLEY, Chad; WINSTON, Clifford. **Firm inventory behavior and the returns from highway infrastructure investments**. Journal of Urban Economics, v. 55, n. 2, p. 398-415, 2004.

SIFRECA. **Sistema de Informações de Fretes**. Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG) . Disponível em: <https://sifreca.esalq.usp.br/>. Acesso em: 12 dez 2019.

SILVA NETO, S. **Impactos de Investimentos em Infraestrutura Logística na Cadeia de Grãos do Brasil: Uma Aplicação de Programação Linear**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.

SILVA, G.J.C.; FORTUNATO, W.L.L. **Infraestrutura e Crescimento: Uma Avaliação do Caso Brasileiro no Período 1985-1998**. In: Fórum BNB de Desenvolvimento XII Encontro Regional de Economia, Fortaleza. 2007.

SILVA, A. C. **Otimização do transporte em oleodutos utilizando algoritmos genéticos e programação linear**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 1999.

SILVA, P. T. **Utilização do Software de Otimização GAMS na Proposição de Investimentos na Malha Dutoviária Brasileira**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, Paraná. 2018.

SINFRA. Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística do Mato Grosso. **Malha rodoviária**. Disponível em: <http://www.sinfra.mt.gov.br/malha-rodoviaria>. Acesso em: 5 fev 2021.

SOLIANI, R. D. **An Overview of agribusiness logistics in Brazil**. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, v.9, n.31, p.410-422, 2015.

SOUZA, M. M.; ROCHA, M. P. C.; FARIAS, V. J. C.; TAVARES, H. R. **Optimization of soybean outflow routes from Mato Grosso, Brazil**. International Journal for Innovation, Education and Research, v. 8, p.176-191, 2020.

SOUZA, M. M.; ROCHA, M. P. C.; RAMOS, C. C.; OLIVEIRA, T. L.; VIEIRA, M. A. S. **O Escoamento da Soja do Mato Grosso: Um Breve Levantamento Teórico**. I Congresso Internacional de Estudos Multidisciplinares na Amazônia, Belém, Pará, v.1, 2020.

STERN, Nicholas. **A strategy for development**. The World Bank, 2002.

TAYLOR, D. **Logistics Engineering Handbook** . 1 ed., Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group, LLC. 2008.

TSAMBOULAS, D; YIOTIS, G.S; PANOU, K.D. **Use of multicriteria methods for assessment of transport projects**. Journal of Transportation Engineering, v. 125, n. 5, 1999.

VANDERBEI, J. **Linear programming: foundations and extensions**. Springer Nature, 2020.

VIANNA, D. **Há relação entre custo-efetividade de acordo com diferentes metas?**. Revista Brasileira de Hipertensão, Rio de Janeiro, v.17, n.3, p. 182-185, 2010.

YAMAGUCHI, K. **Inter-regional air transport accessibility and macro-economic performance in Japan**. Transportation Res. Part E: Logistics Transportation Rev. 2007.

ZAMBONI, J. Hermasa - **Navegação da Amazônia**. Corredor Madeira/Amazonas . Cuiabá, Mato Grosso, 2010.

ANEXO 1 – RESULTADOS OBTIDOS PELA ACE

CÁLCULO DOS BENEFÍCIOS ATRAVÉS DOS CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PELOS PESOS

ACE Critério 1					
	Custo	Emissão CO2	Efic Energética	Redução de caminhões	Benefício total
2018.2	187,0227	-18,7737	-127,6892	7,3239	47,8836
2018.3	186,6989	-161,0032	-30,2122	5,1504	0,6340
2018.4	224,0448	-11,1180	-88,7466	10,3955	134,5757
2018.5	241,1591	-20,1084	-144,4302	8,5046	85,1252
2018.6	254,1037	1,4782	-23,9988	3,4021	234,9852
2018.7	302,8132	-4,8781	-3,2834	10,3955	305,0471
2025.2	394,1053	-36,7302	-251,2212	10,6619	116,8156
2025.3	387,3778	-5,3710	-58,8392	7,6928	330,8604
2025.4	462,0313	-21,9243	-175,9080	15,7621	279,9610
2025.5	518,5941	-40,3345	-294,8848	12,4784	195,8532
2025.6	535,0350	3,2681	-46,4124	5,0031	496,8938
2025.7	632,3880	-15,2622	-169,2365	15,7621	463,6514
2030.2	454,5778	-29,5632	-209,4741	-2,8075	212,7331
2030.3	452,2742	10,3588	-104,0400	-2,8075	355,7854
2030.4	541,2648	-23,8970	-43,6130	-2,8075	470,9473
2030.5	592,1756	7,3757	-178,8001	-5,8670	414,8843
2030.6	618,2798	17,7848	8,3661	-2,8075	641,6232

ACE Critério 2					
	Custo	Emissão CO2	Efic Energética	Redução de caminhões	Benefício total
2018.2	31,1704	-37,5475	-63,8446	43,9432	-26,2784
2018.3	31,1165	-322,0063	-15,1061	30,9027	-275,0933
2018.4	37,3408	-22,2360	-44,3733	62,3728	33,1043
2018.5	40,1932	-40,2168	-72,2151	51,0277	-21,2110
2018.6	42,3506	2,9565	-11,9994	20,4126	53,7203
2018.7	50,4689	-9,7563	-1,6417	62,3728	101,4437
2025.2	65,6842	-73,4605	-125,6106	63,9712	-69,4157
2025.3	64,5630	-10,7421	-29,4196	46,1569	70,5582
2025.4	77,0052	-43,8487	-87,9540	94,5724	39,7750
2025.5	86,4324	-80,6691	-147,4424	74,8703	-66,8088
2025.6	89,1725	6,5363	-23,2062	30,0183	102,5209
2025.7	105,3980	-30,5243	-84,6183	94,5724	84,8279
2030.2	75,7630	-59,1263	-104,7370	-16,8449	-104,9453
2030.3	75,3790	20,7175	-52,0200	-16,8449	27,2317
2030.4	90,2108	-47,7940	-21,8065	-16,8449	3,7654
2030.5	98,6959	14,7515	-89,4000	-35,2021	-11,1547
2030.6	103,0466	35,5697	4,1830	-16,8449	125,9545
2030.7	122,4310	3,6296	-36,4344	-16,8449	72,7813

ACE Critério 3					
	Custo	Emissão CO2	Efic Energética	Redução de caminhões	Benefício total
2018.2	155,8522	0,0000	-319,2230	0,0000	-163,3708
2018.3	155,5824	0,0000	-75,5305	0,0000	80,0519
2018.4	186,7040	0,0000	-221,8666	0,0000	-35,1626
2018.5	200,9660	0,0000	-361,0755	0,0000	-160,1096
2018.6	211,7531	0,0000	-59,9971	0,0000	151,7560
2018.7	252,3443	0,0000	-8,2085	0,0000	244,1358
2025.2	328,4211	0,0000	-628,0531	0,0000	-299,6321
2025.3	322,8148	0,0000	-147,0979	0,0000	175,7169
2025.4	385,0261	0,0000	-439,7701	0,0000	-54,7440
2025.5	432,1618	0,0000	-737,2120	0,0000	-305,0502
2025.6	445,8625	0,0000	-116,0310	0,0000	329,8315
2025.7	526,9900	0,0000	-423,0913	0,0000	103,8987
2030.2	378,8148	0,0000	-523,6851	0,0000	-144,8703
2030.3	376,8952	0,0000	-260,1001	0,0000	116,7951
2030.4	451,0540	0,0000	-109,0325	0,0000	342,0215
2030.5	493,4797	0,0000	-447,0002	0,0000	46,4795
2030.6	515,2332	0,0000	20,9152	0,0000	536,1483
2030.7	612,1548	0,0000	-182,1720	0,0000	429,9827

ACE Critério 4					
	Custo	Emissão CO2	Efic. Energética	Redução de caminhões	Benefício total
2018.2	0,0000	-93,8687	0,0000	-319,2230	-413,0917
2018.3	0,0000	-805,0158	0,0000	-75,5305	-880,5464
2018.4	0,0000	-55,5899	0,0000	-221,8666	-277,4565
2018.5	0,0000	-100,5419	0,0000	-361,0755	-461,6175
2018.6	0,0000	7,3912	0,0000	-59,9971	-52,6058
2018.7	0,0000	-24,3907	0,0000	-8,2085	-32,5992
2025.2	0,0000	-183,6511	0,0000	-628,0531	-811,7042
2025.3	0,0000	-26,8552	0,0000	-147,0979	-173,9531
2025.4	0,0000	-109,6217	0,0000	-439,7701	-549,3917
2025.5	0,0000	-201,6727	0,0000	-737,2120	-938,8847
2025.6	0,0000	16,3407	0,0000	-116,0310	-99,6903
2025.7	0,0000	-76,3108	0,0000	-423,0913	-499,4021
2030.2	0,0000	-147,8158	0,0000	-523,6851	-671,5009
2030.3	0,0000	51,7938	0,0000	-260,1001	-208,3063
2030.4	0,0000	-119,4850	0,0000	-109,0325	-228,5176
2030.5	0,0000	36,8787	0,0000	-447,0002	-410,1215
2030.6	0,0000	88,9242	0,0000	20,9152	109,8394
2030.7	0,0000	9,0740	0,0000	-182,1720	-173,0980

ACE Critério 5					
	Custo	Emissão CO2	Efic. Energética	Redução de caminhões	Benefício total
2018.2	62,3409	-18,7737	-383,0676	-63,8446	-403,3451
2018.3	62,2330	-161,0032	-90,6366	-15,1061	-204,5129
2018.4	74,6816	-11,1180	-266,2399	-44,3733	-247,0496
2018.5	80,3864	-20,1084	-433,2907	-72,2151	-445,2278
2018.6	84,7012	1,4782	-71,9965	-11,9994	2,1836
2018.7	100,9377	-4,8781	-9,8502	-1,6417	84,5676
2025.2	131,3684	-36,7302	-753,6637	-125,6106	-784,6362
2025.3	129,1259	-5,3710	-176,5175	-29,4196	-82,1822
2025.4	154,0104	-21,9243	-527,7241	-87,9540	-483,5920
2025.5	172,8647	-40,3345	-884,6544	-147,4424	-899,5666
2025.6	178,3450	3,2681	-139,2372	-23,2062	19,1697
2025.7	210,7960	-15,2622	-507,7096	-84,6183	-396,7940
2030.2	151,5259	-29,5632	-628,4222	-104,7370	-611,1964
2030.3	150,7581	10,3588	-312,1201	-52,0200	-203,0233
2030.4	180,4216	-23,8970	-130,8390	-21,8065	3,8791
2030.5	197,3919	7,3757	-536,4002	-89,4000	-421,0326
2030.6	206,0933	17,7848	25,0982	4,1830	253,1593
2030.7	244,8619	1,8148	-218,6065	-36,4344	-8,3641

ACE Critério 6					
	Custo	Emissão CO2	Efic. Energética	Redução de caminhões	Benefício total
2018.2	31,1704	-112,6425	-63,8446	-127,6892	-273,0058
2018.3	31,1165	-966,0190	-15,1061	-30,2122	-980,2208
2018.4	37,3408	-66,7079	-44,3733	-88,7466	-162,4871
2018.5	40,1932	-120,6503	-72,2151	-144,4302	-297,1024
2018.6	42,3506	8,8695	-11,9994	-23,9988	15,2219
2018.7	50,4689	-29,2688	-1,6417	-3,2834	16,2749
2025.2	65,6842	-220,3814	-125,6106	-251,2212	-531,5290
2025.3	64,5630	-32,2263	-29,4196	-58,8392	-55,9221
2025.4	77,0052	-131,5460	-87,9540	-175,9080	-318,4028
2025.5	86,4324	-242,0072	-147,4424	-294,8848	-597,9021
2025.6	89,1725	19,6089	-23,2062	-46,4124	39,1628
2025.7	105,3980	-91,5730	-84,6183	-169,2365	-240,0298
2030.2	75,7630	-177,3789	-104,7370	-209,4741	-415,8270
2030.3	75,3790	62,1526	-52,0200	-104,0400	-18,5284
2030.4	90,2108	-143,3820	-21,8065	-43,6130	-118,5907
2030.5	98,6959	44,2544	-89,4000	-178,8001	-125,2497
2030.6	103,0466	106,7091	4,1830	8,3661	222,3048
2030.7	122,4310	10,8888	-36,4344	-72,8688	24,0166

TABELA DE PRIORIDADES

Prioridade	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5	Critério 6
1	660,7242	125,9545	536,1483	109,8394	253,1593	222,3048
2	641,6232	102,5209	429,9827	-32,5992	84,5676	39,1628
3	496,8938	101,4437	342,0215	-52,6058	19,1697	24,0166
4	470,9473	84,8279	329,8315	-99,6903	3,8791	16,2749
5	463,6514	72,7813	244,1358	-173,0980	2,1836	15,2219
6	414,8843	70,5582	175,7169	-173,9531	-8,3641	-18,5284
7	355,7854	53,7203	151,7560	-208,3063	-82,1822	-55,9221
8	330,8604	39,7750	116,7951	-228,5176	-203,0233	-118,5907
9	305,0471	33,1043	103,8987	-277,4565	-204,5129	-125,2497
10	279,9610	27,2317	80,0519	-410,1215	-247,0496	-162,4871
11	234,9852	3,7654	46,4795	-413,0917	-396,7940	-240,0298
12	212,7331	-11,1547	-35,1626	-461,6175	-403,3451	-273,0058
13	195,8532	-21,2110	-54,7440	-499,4021	-421,0326	-297,1024
14	134,5757	-26,2784	-144,8703	-549,3917	-445,2278	-318,4028
15	116,8156	-66,8088	-160,1096	-671,5009	-483,5920	-415,8270
16	85,1252	-69,4157	-163,3708	-811,7042	-611,1964	-531,5290
17	47,8836	-104,9453	-299,6321	-880,5464	-784,6362	-597,9021
18	0,6340	-275,0933	-305,0502	-938,8847	-899,5666	-980,2208

ANEXO 2 – PRIMEIRO ARTIGO APROVADO NO INTERNATIONAL JOURNAL
FOR INNOVATION, EDUCATION AND RESEARCH (ISSN: 2040-2244)



International Journal for Innovation Education and Research

ISSN: 2411-2933



Optimization of soybean outflow routes from Mato Grosso, Brazil

Souza Matheus M.; Rocha Marcus P. C.; Farias Valcir J. C.; Tavares Heliton R.

Abstract

The purpose of this work is to apply a transshipment model, based on the theory of linear programming in a problem of optimization of the flow cost of soybeans from the State of Mato Grosso. The model consisted of analyzing the cost of transportation through the current transportation infrastructure, proposing two new options, being waterway and railway, as well as maintaining the port capacity of Arco Norte. 2018 production and projections for 2025 and 2030 were also considered. The results showed that the greatest reductions in transportation costs in 2018 occurred in the flow of production through Arco Norte. In addition, the new intermodal routes have significantly changed the transportation matrix, contributing to Brazilian competitiveness in the foreign market and assisting in the development of the North and Northeast regions.

ANEXO 3 – SEGUNDO ARTIGO APROVADO NO I CONGRESSO DE ESTUDOS MULTIDISCIPLINARES NA AMAZÔNIA

O ESCOAMENTO DA SOJA DO MATO GROSSO: UM BREVE LEVANTAMENTO TEÓRICO

Matheus M. Souza¹, Marcus P. C. Rocha², Tiago L. Oliveira³, Carolina C. Ramos⁴, Marianna A. S. Vieira⁵,

¹ Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval, Universidade Federal do Pará

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval, Universidade Federal do Pará

³ Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval, Universidade Federal do Pará

⁴ Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval, Universidade Federal do Pará

⁵ Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas

RESUMO

A soja brasileira é escoada para o mercado externo principalmente pelos portos das regiões Sul e Sudeste. Estes portos, apesar de possuírem melhores infraestruturas portuárias em termos de produtividade, logo mais não conseguirão acompanhar o aumento da demanda. Assim, o objetivo deste artigo é realizar um breve levantamento teórico para exibir a situação do escoamento de soja em outra região. O agronegócio continua se despontando como segmento de significativa relevância na economia brasileiro, na safra 2019/2020 o Brasil será o maior produtor mundial de soja com estimativa de 125,0 milhões de toneladas, obtendo crescimento de 6,8% em relação à estimativa do mesmo período da safra 2018/2019. A concentração da produção de soja está principalmente na região Centro-Oeste, sendo responsável por 45% da produção na safra 2018/19 e 2019/20, com respectivamente 52,6 e 54,5 milhões de toneladas e o principal estado produtor é o Mato Grosso, com 33 milhões de toneladas, cerca de 27,5% de toda a produção nacional. Porém, a complexidade da infraestrutura logística afeta todo o país, mas com maiores impactos nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, devido a deficiência da malha de transporte. A distribuição da produção destinada às indústrias de processamento e posteriormente o mercado consumidor interno é realizado pelo modal rodoviário. As cargas destinadas aos portos de exportação são transportadas por rodovias, ferrovias e hidrovias, e em alguns casos pela combinação entre os modais. Existe ineficiência do transporte da soja, concentrado no modal rodoviário, embora existam outras vias (hidrovias, ferrovia, etc.). Isso dá-se justamente pelas condições precárias das rodovias brasileiras, principalmente as localizadas na região de estudo, em razão talvez de crises financeiras, que gera cenários de poucos investimentos na grande área de fronteira agrícola e na infraestrutura de transportes.

**ANEXO 4 – TERCEIRO ARTIGO SUBMETIDO NO INTERNATIONAL JOURNAL
OF SUSTAINABLE TRANSPORTATION (ISSN: 1556-8334)**

Dear Matheus Souza,

Thank you for your submission. Please see the details below.

Submission ID **213161289**
Manuscript Title **Cost-effectiveness analysis of infrastructure works in the Arco Norte, Brazil**
Journal **International Journal of Sustainable Transportation**

You can always check the progress of your submission [here](#) (we now offer multiple options to sign in to your account. To log in with your ORCID please click on the 'with ORCID' box on the bottom right of the log in area).

If you have any queries, please get in touch with journalshelpdesk@taylorandfrancis.com.

Thank you for submitting your work to our journal.

Kind Regards,
International Journal of Sustainable Transportation Editorial Office