

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

ABNER MATHEUS JOÃO

Otimização da logística de soja e milho no Brasil: aplicações de Programação Linear e Programação Inteira Mista

São Paulo

2021

ABNER MATHEUS JOÃO

Otimização da logística de soja e milho no Brasil: aplicações de Programação Linear e Programação Inteira Mista

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Engenharia de Sistemas Logísticos

Orientador: Prof. Dr. José Vicente Caixeta-Filho

São Paulo

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 19 de outubro de 2021



Assinatura do autor



Assinatura do orientador

Catálogo na publicação

João, Abner Matheus

Otimização da logística de soja e milho no Brasil: aplicações de Programação Linear e Programação Inteira Mista / A. M. João -- São Paulo, 2021 - (Versão Corrigida).
215 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Produção.

1.Logística 2.Soja 3.Milho 4.Programação matemática 5.Agronomia
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia
de Produção II.t.

Nome: JOÃO, Abner Matheus

Título: Otimização da logística de soja e milho no Brasil: aplicações de Programação Linear e Programação Inteira Mista

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

DEDICATÓRIA

A todos profissionais de logística agroindustrial que, por qualquer meio, contribuem para o desenvolvimento do país ao buscar as melhores soluções mesmo com todas as adversidades existentes.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por tudo de bom que já aconteceu em minha vida.

Aos meus pais, Valdir e Marlei, pelos exemplos, confiança e ensinamentos.

Às minhas irmãs, Adassa e Acsa, pelo companheirismo.

À Universidade de São Paulo, especialmente a Escola Politécnica e a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e aos professores pelas aulas ministradas.

Ao Professor José Vicente Caixeta Filho, pela orientação no desenvolvimento deste trabalho e ensinamentos ao longo da graduação e pós-graduação e durante minha vida profissional.

Aos amigos e colegas do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG), com destaque para Everton Costa, Rodrigo Santos, Fernando Rocha, Fernando Bastiani e Thiago Péra, que além de me ajudarem de forma direta ou indireta neste trabalho, contribuíram para todo meu desenvolvimento pessoal e profissional ao longo dos 5 anos no grupo.

Aos meus amigos, Pedro Affonso Pizelli Fernandes e Vitor Hugo Giusti da Silva pela amizade e por diversas vezes me hospedarem em São Paulo.

À Natália, pela companhia e conselhos ao longo de, praticamente, toda a graduação e durante toda pós-graduação.

Por fim, a todos que, direta e indiretamente, colaboraram na realização e conclusão deste trabalho.

“All we need to do is make sure we keep talking.”
(PINK FLOYD, 1994)

RESUMO

JOÃO, Abner Matheus. **Otimização da logística de soja e milho no Brasil: aplicações de Programação Linear e Programação Inteira Mista.** 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

As *commodities* agrícolas têm seu preço definido no mercado, de modo que os custos logísticos são um fator importante para a composição da renda do produtor rural. Esse estudo busca otimizar a rede logística para soja e milho no Brasil pela ótica de minimização dos custos logísticos, levando em conta toda produção nacional e demanda dos mercados externo e interno, considerando as alternativas em infraestrutura logística disponíveis e através de simulações de cenários com aumentos na capacidade de embarque nos destinos, capacidade operacional dos terminais de transbordo e capacidade estática de armazenagem. Para tal foram construídos onze cenários com particularidades sobre o sistema logístico, sendo cenários de reprodução, cenários abertos e cenários livres de modelos de transbordo construídos à luz da Programação Linear (PL) e da Programação Inteira Mista (MIP). Os resultados expuseram a participação dos custos de transporte, armazenagem e portuários na composição dos custos logísticos totais de cada cenário, sendo os custos de transporte os principais (74,04% no cenário de reprodução e 75,36% no cenário aberto), os custos de armazenagem representando 13,59% no cenário de reprodução e 10,65% no cenário aberto e os custos portuários com 12,37% e 14,10%, respectivamente. O terminal de Rondonópolis (MT) não foi totalmente utilizado em nenhum cenário e o terminal de Miritituba, em Itaituba (PA), foi totalmente utilizado em todos os cenários, apresentando potencial de captação de 10,717 milhões de toneladas no cenário com capacidade de transbordo ilimitada e potencial de redução de custo no sistema de R\$ 17,29 por tonelada adicional de capacidade. Este estudo pode servir como *benchmarking* para agentes do setor, bem como a formulação apresentada pode servir como uma ferramenta de análise para entender o comportamento ótimo do mercado logístico de grãos no Brasil em qualquer horizonte de tempo.

Palavras-chave: armazenamento agrícola, logística, soja, milho, otimização

ABSTRACT

JOÃO, Abner Matheus. **Otimização da logística de soja e milho no Brasil: aplicações de Programação Linear e Programação Inteira Mista.** 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

Agricultural commodities have their prices set in the market; therefore, logistic derived costs are important elements for rural producer's income. This study aims to optimize soybean and corn logistics network in Brazil, contemplating the nationwide production and demand for exportation and consumption considering available infrastructure and through scenarios simulations for the increase on ports and factories capacity, transshipment operational capacity and static storage capacity. For this purpose, eleven scenarios were created with particularities over the logistics network, which can be divided into reproduction, and free scenarios, built as Linear Programming (LP) and Mixed Integer Programming (MIP) transshipment models. The results exposed the importance of transportation costs as the principal logistic cost, representing 74.04% of total costs on the reproduction scenario and 75.36% on the opened scenario. Storage costs symbolized 13.59% on the reproduction scenario and 10.65% on the opened scenario and port activity costs represented 12.37% and 14.10% in each scenario, respectively. Rondonópolis transshipment terminal was not fully utilized in any scenario and Miritituba's terminal was totally located in all scenarios, presenting possibilities of increase on total cargo capture of 10.717 million tons/year and its shadow price represented possibilities of total logistics cost reduction of R\$ 17.29 for each capacity additional ton. This paper can suit the agribusiness logistics agents as benchmarking and the presented model formulation can serve as an analysis tool for understanding the Brazilian soybean and corn logistics' optimal performance for any time horizon.

Keywords: agricultural storage, logistics, soybean, corn, optimization

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Participação na receita (valor FOB) com a exportação por seção (esquerda) e composição do setor de produtos vegetais (direita)	20
Figura 2 - Volume exportado (absoluto e relativo) de soja e milho por complexo portuário em 2019.....	21
Figura 3 - Importância dos portos do Arco Norte na exportação de soja e milho (2010 a 2019)	22
Figura 4 - Movimentação ferroviária de soja e milho por malha (2015 a 2019)	23
Figura 5 - Série histórica da Produção de grãos no Brasil (1976/77 a 2018/19)	24
Figura 6 - Mapa com Produção de soja e milho por mesorregião, demanda dos portos e terminais multimodais e infraestrutura multimodal existente (2018)	25
Figura 7 - Modelo de fluxo circular simplificado	26
Figura 8 - Média, mínima e máxima de preços mensais deflacionados de soja e milho entre 2010 e 2019 por mês	28
Figura 9 - Média, mínima e máxima de momento de fretes mensais deflacionados de soja e milho entre 2010 e 2019 por mês e região de origem para rotas com distância igual ou superior a 100 km (em R\$/t.km)	29
Figura 10 - Série histórica da capacidade estática de armazenagem no Brasil (1980 a 2019)	30
Figura 11- Distribuição da capacidade estática de armazenagem em 2018 por UF com produção de soja e milho superior a 1 milhão de toneladas.....	31
Figura 12 - Capacidade útil das unidades armazenadoras por tipo de unidade, atividade do estabelecimento (esquerda) e propriedade da empresa (direita)	32
Figura 13 - Exemplificação da curva de frete utilizada no estudo.....	42
Figura 14 - Distribuição em bloxpot dos ajustes R^2 das curvas mensais utilizadas (linear e logarítmicas).....	43
Figura 15 - Distribuição em <i>bloxpot</i> do período entre atracamento e desatracamento de navios de Soja nos portos de Santos, Paranaguá e Santarém em 2018	44
Figura 16 - Exemplo de rede de transbordo.....	47
Figura 17 - Rede considerada para o modelo de otimização	48
Figura 18 - Rede considerada para o modelo de otimização com variáveis de decisão e parâmetros ilustrados	51

Figura 19 - Rede considerada para o modelo de otimização com obrigatoriedade na passagem por uma unidade armazenadora (OA)	52
Figura 20 - Custos totais para cada cenário de otimização e elo logístico	68
Figura 21 - Movimentações por variável de decisão e volume em estoque por mês para cada cenário de Reprodução (em milhões de toneladas)	70
Figura 22 - Movimentações por produto, variável de decisão e volume em estoque por mês para o cenário aberto (<i>RTAP</i>) (em milhões de toneladas)	71
Figura 23 - Movimentações por variável de decisão e volume em estoque por mês para o cenário aberto (<i>ATAP</i>) (em milhões de toneladas)	72
Figura 24 - Movimentações por variável de decisão e volume em estoque por mês para o cenário livre (<i>LTAP</i>) (em milhões de toneladas)	73
Figura 25 - Disposição das variáveis de decisão que caracterizam as movimentações para os destinos de exportação nos cenários <i>RTAP</i> e <i>ATAP</i>	78
Figura 26 - Disposição das variáveis de decisão que caracterizam as movimentações para os destinos de exportação no cenário <i>LTAP</i> para soja (direita) e milho (esquerda)	80
Figura 27 – Volume exportado pelo porto de Santos (SP) nos cenários <i>RTAP</i> , <i>ATAP</i> e <i>LTAP</i> para soja e milho por mesorregião.....	81
Figura 28 – Volume exportado pelo porto de Paranaguá (PR) nos cenários <i>RTAP</i> , <i>ATAP</i> e <i>LTAP</i> para soja e milho por mesorregião	82
Figura 29 - Volume exportado pelo porto de Rio Grande (RS) nos cenários <i>RTAP</i> , <i>ATAP</i> e <i>LTAP</i> para soja por mesorregião	83
Figura 30 - Preços sombra para cada porto para a soja no cenário <i>RTAP</i> por mês (R\$/t).....	86
Figura 31 - Preços sombra para cada porto para o milho no cenário <i>RTAP</i> por mês (R\$/t)	88
Figura 32 - Demanda interna parametrizada e volume alocado em <i>LTAP</i> e <i>LTAP-D</i> para soja e milho por UF	90
Figura 33 - Volume embarcado e capacidade de cada terminal de entrada para todos os cenários de reprodução, <i>ATAP</i> , <i>LTAP</i> e <i>LTAP-E</i>	92
Figura 34 - Volume embarcado no terminal de Miritituba, em Itaituba (PA), nos cenários <i>RTAP</i> , <i>ATAP</i> e <i>LTAP-E</i> para soja e milho por mesorregião.....	93
Figura 35 - Área de influência do terminal de Rondonópolis e volumes captados nos cenários <i>RTAP</i> , <i>ATAP</i> , <i>LTAP</i> e <i>LTAP-E</i>	94

Figura 36 - Volume embarcado no terminal de Porto Velho (RO) nos cenários <i>RTAP</i> , <i>ATAP</i> e <i>LTAP-E</i> para soja e milho por mesorregião	97
Figura 37 - Volume embarcado no terminal de Londrina (PR) para soja e milho e em Guarapuava (PR) para soja no cenário <i>LTAP-E</i> por mesorregião	98
Figura 38 - Volume embarcado no terminal de Araguari (MG) nos cenários <i>RTAP</i> , <i>ATAP</i> e <i>LTAP-E</i> para soja por mesorregião	99
Figura 39 - Preço sombra de cada terminal de entrada para cada um dos cenários de reprodução (RS/t).....	100
Figura 40 - Movimentações por variável de decisão e volume em estoque por mês para o cenário de reprodução com obrigatoriedade de passagem nos armazéns (<i>RTAP-AO</i>) (em milhões de toneladas).....	102
Figura 41 - Movimentações por variável de decisão e volume em estoque por mês para o cenário aberto com obrigatoriedade de passagem nos armazéns (<i>ATAP-AO</i>) (em milhões de toneladas)	103
Figura 42 - Disposição das variáveis de decisão que caracterizam as movimentações para os destinos de exportação nos cenários <i>RTAP-AO</i> e <i>ATAP-AO</i>	104
Figura 43 - Volume embarcado e capacidade de cada terminal de entrada para os cenários <i>RTAP</i> , <i>RTAP-AO</i> , <i>ATAP</i> e <i>ATAP-AO</i>	105
Figura 44 - Preço sombra de cada terminal de entrada para os cenários <i>RTAP-AO</i> e <i>RTAP</i> (RS/t).....	106
Figura 45 - Alocação de armazéns por mesorregião nos cenários <i>ATAP</i> , <i>LTAP</i> e <i>LTAP-A</i> e capacidade estática em 2018	107
Figura 46 - Estoque total nos doze meses de análise para os cenários <i>RTAP</i> , <i>ATAP</i> , <i>LTAP</i> e <i>LTAP-A</i> por mesorregião em toneladas	109
Figura 47 - Capacidade estática (t), estoque máximo mensal em <i>LTAP-A</i> (t) e relação entre estoque máximo em <i>LTAP-A</i> e capacidade estática (%).....	110
Figura 48 - Alocação de armazéns por mesorregião nos cenários <i>ATAP</i> e <i>ATAP-AO</i> e capacidade estática em 2018.....	112
Figura 49 - Estoque total nos doze meses de análise para os cenários <i>RTAP-AO</i> e <i>ATAP-AO</i> por mesorregião em toneladas.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Calendário das safras de soja e milho (1 ^a e 2 ^a safra) para os meses de plantio (P) e colheita (C)	27
Tabela 2 - Curvas de fretes consideradas	40
Tabela 3 - Índices e conjuntos considerados para modelagem matemática	49
Tabela 4 - Parâmetros considerados para modelagem matemática	49
Tabela 5 - Equilíbrio entre oferta total e demanda total (toneladas)	51
Tabela 6 - Variáveis de decisão consideradas para modelagem matemática	52
Tabela 7 - Cenários considerados e principais particularidades	65
Tabela 8 - Cenários considerados e equações correspondentes ao modelo de otimização proposto	66
Tabela 9 - Sumarização das movimentações mensais por cenário considerado*, custo de transporte total** e custo de transporte médio***	75
Tabela 10 - Sumarização do volume em estoque por mês por cenário considerado*, custo de armazenagem total** e custo de armazenagem médio***	76
Tabela 11 - Mesorregiões com estoque mensal máximo superior a 100% da capacidade estática ou que apresentam alocação em <i>LTAP-A</i> tendo capacidade estática nula.....	111

LISTA DE SIGLAS E ABREVIÇÕES

ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
ATAP	Cenário aberto com todos os custos incorporados (transporte, armazenagem e portuários)
ATAP-AO	Cenário aberto com todos os custos incorporados (transporte, armazenagem e portuários) e obrigatoriedade na passagem por unidades armazenadoras
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CNA	Confederação Nacional da Agricultura
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CSCMP	<i>Council of Supply Chain Management Professionals</i>
ESALQ-LOG	Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial
FGP	Programação de Objetivo <i>Fuzzy</i>
FGV IBRE	Instituto Brasileiro de Economia da Fundação Getúlio Vargas
FOB	<i>Free-on-Board</i>
GEE	Gases do efeito estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILOS	<i>Institute of Logistics and Supply Chain</i>
LHS	<i>Left-hand side</i>
LTAP	Cenário com todos os custos incorporados e liberdade quanto a demanda das unidades de destino, capacidade operacional dos terminais e capacidade estática de armazenagem ilimitadas
LTAP-A	Cenário com todos os custos incorporados e liberdade quanto a capacidade estática dos armazéns (ilimitada)
LTAP-D	Cenário com todos os custos incorporados e liberdade quanto a demanda das unidades de destino
LTAP-E	Cenário com todos os custos incorporados e liberdade quanto a capacidade operacional dos terminais (ilimitada)
ME	Ministério da Economia
MIP	<i>Mixed Integer Programming</i>
MULT	Total transportado por via multimodal entre regiões produtoras e destino
MULTA	Total transportado por via multimodal entre regiões armazenadoras e destinos
PIB	Produto Interno Bruto
PL	Programação Linear
PNPM-TRC	Política Nacional de Pisos Mínimos do Transporte Rodoviário de Cargas
RMN	Rumo Malha Norte

RODO	Total transportado por via rodoviária entre regiões produtoras e destino
RODOOA	Total transportado por via rodoviária entre regiões produtoras e regiões armazenadoras
RODOOAD	Total transportado por via rodoviária entre regiões armazenadoras e destinos
RT	Cenário de reprodução com apenas custos de transporte considerado
RTA	Cenário de reprodução com custos de transporte e custos provenientes da atividade de armazenagem
RTAP	Cenário de reprodução com todos os custos incorporados (transporte, armazenagem e portuários)
RTAP-AO	Cenário de reprodução com todos os custos incorporados (transporte, armazenagem e portuários) e obrigatoriedade na passagem por unidades armazenadoras
RTP	Cenário de reprodução com custos de transporte e custos provenientes da atividade portuária
SIFRECA	Sistema de Informações de Fretes
VMULT	Variável de decisão correspondente a movimentação multimodal entre regiões produtoras e destino através de um terminal de transbordo
VMULTA	Variável de decisão correspondente a movimentação multimodal entre regiões armazenadoras e destino através de um terminal de transbordo
VRODO	Variável de decisão correspondente a movimentação rodoviária entre regiões produtoras e destino
VRODOAD	Variável de decisão correspondente a movimentação rodoviária entre regiões armazenadoras e destino
VRODOOA	Variável de decisão correspondente a movimentação rodoviária entre regiões produtoras e regiões armazenadoras

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1 IMPORTÂNCIA DO AGRONEGÓCIO	20
2.2 SOJA E MILHO.....	23
2.3 MERCADO DE FRETES AGROINDUSTRIAIS	28
2.4 IMPORTÂNCIA DE SE ARMAZENAR.....	29
2.5 TARIFA DE ARMAZENAGEM EM ARMAZÉNS DE TERCEIROS.....	32
2.6 APLICAÇÕES DE PROGRAMAÇÃO LINEAR	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1 MATERIAIS.....	38
3.2 MÉTODO	46
3.2.1 Programação Linear (PL).....	46
3.2.2 Programação Inteira Mista (MIP).....	47
3.2.3 Modelo proposto	48
3.2.4 Cenário de reprodução	53
3.2.5 Cenário aberto	58
3.2.6 Cenário livre.....	62
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.1 CUSTOS LOGÍSTICOS TOTAIS	67
4.2 DISPOSIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE DECISÃO POR MÊS	69
4.3 DESTINOS DE EXPORTAÇÃO	77
4.4 DESTINOS DE CONSUMO (MERCADO INTERNO).....	89
4.5 MULTIMODALIDADE NO TRANSPORTE DE SOJA E MILHO	91
4.6 CENÁRIOS COM OBRIGATORIEDADE NA PASSAGEM POR ARMAZÉNS.....	101
4.7 ANÁLISE LOCACIONAL PARA ARMAZÉNS GRANELEIROS.....	106
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
6. REFERÊNCIAS	120
APÊNDICE	127

1. INTRODUÇÃO

O mercado agroindustrial é um dos principais segmentos comerciais do Brasil, tanto na forma de geração de divisas, com forte participação na composição do Produto Interno Bruto (PIB) nacional e na balança comercial, equilibrando as contas comerciais, como na forma de geração de empregos e desenvolvimento para todas as regiões e produção de alimentos para o abastecimento nacional e internacional. A condição de elevada importância no fornecimento de alimentos para todo mundo fez com que o Brasil se tornasse, ano a ano, um dos principais *players* nesse quesito, aproveitando-se das condições naturais, geológicas e climáticas e de fortes incentivos governamentais e privados, juntamente ao desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias, para ganhos de produtividade e de produção.

A soja e o milho são os principais grãos produzidos no Brasil, em termos físicos e financeiros, e apresentam ritmo de produção crescente, principalmente devido a sucessivos investimentos em elevação da produtividade. Além de serem utilizados como base alimentar para a agropecuária e para consumo no Brasil, esses produtos são largamente exportados para outros países, sendo a China o principal destino para a soja brasileira.

Contudo, muitas vezes, os fortes ganhos produtivos não têm o mesmo impacto na receita ou na margem do produtor ou *trading*, pelo simples fato de que esses ganhos são mitigados por gargalos de infraestrutura ou por falta de planejamento logístico. Por se tratar de produtos agroindustriais vendidos a granel, essas *commodities* agrícolas têm seus preços definidos no mercado, através da interação entre oferta e demanda, fazendo com que o produtor rural, no momento do preparo da área para produção, não detenha o conhecimento do preço que receberá no momento da venda, sendo a receita final sujeita a condições endógenas (produção e produtividade da propriedade, sujeita a uma série de variáveis) e exógenas (produção e produtividade dos concorrentes e demanda nacional e internacional). Assim, no momento de colheita no Brasil, os preços da saca de soja e milho tendem a ser menores pela abundância na oferta desses produtos, reequilibrando-se conforme a produção é vendida e a disponibilidade reduzida.

Da mesma forma que o preço dos produtos, os fretes para transportá-los da região produtora para a região de destino, podendo ser para consumo doméstico ou exportação, também são comumente determinados pela oferta de transporte (número de veículos ou agentes

transportadores presentes naquela determinada região no momento do transporte) e demanda de carga para ser movimentada. Dessa forma, nos momentos de colheita da produção, é comum que os fretes sejam mais elevados. Com elevação nos custos de transporte, a margem do produtor é reduzida, sendo que a receita não tem impacto direto das atividades de transporte.

A utilização de armazenagem é uma estratégia que pode amenizar os impactos de mercado que causam redução no preço da saca (componente da receita) e do aumento nos fretes (componente dos custos), ampliando a margem do produtor rural. Entretanto, a capacidade de armazenagem no Brasil é inferior ao volume de soja e milho produzido anualmente nas principais regiões do país, além de representar um custo adicional, sendo esse pago a um armazém terceirizado ou contabilizado como custo de capital e operacional de um sistema de armazenagem na propriedade. Isso faz com que, mais uma vez, o produtor tenha que se precaver e realizar um bom planejamento da logística envolvida com o escoamento da sua produção, buscando maximizar sua lucratividade.

Outro custo existente nas operações de exportação de grãos é o custo portuário, composto em grande parte pelo pagamento devido à utilização das estruturas de transbordo da carga para embarque nos navios de exportação, acrescido da multa paga pela ineficiência na operação (quando existente), denominada taxa de sobre estadia ou *demurrage rate*, além de outras tarifas cobradas pela utilização da infraestrutura portuária.

Assim, a margem dos produtores nas operações de exportação é dada pela subtração dos custos de produção (insumos, operacional, capital) e logísticos (transporte, armazenagem e portuário), além da margem das *tradings* quando a comercialização envolver intermediários, do valor FOB (*Free-on-Board*) pagos pelos grãos entregues no porto de exportação.

Vista a importância da cadeia de grãos, principalmente soja e milho, além das estratégias logísticas nesse mercado, **este trabalho tem como objetivo desenvolver e aplicar um modelo matemático de otimização com o fito de analisar e propor ações para otimizar a logística de soja e milho no Brasil e recomendar as configurações da malha logística que poderiam promover o escoamento dessas produções da maneira mais econômica.**

O trabalho considera toda produção nacional desagregada por mesorregiões e todas as infraestruturas logísticas em operação durante o ano de 2018, para assim determinar a

condição de otimalidade e identificar os principais gargalos em termos de infraestrutura logística, além de avaliar o impacto de melhorias nesse sistema nos custos logísticos totais.

Após esta seção introdutória, há uma seção de Revisão da Literatura, que reúne estudos a respeito da importância do agronegócio, principalmente das cadeias produtivas de soja e milho, além de apresentar uma contextualização dos mercados logísticos de transporte e armazenagem e aplicações de pesquisa operacional. Na terceira seção são apresentados os materiais (dados) utilizados e a metodologia adotada, bem como os cenários considerados. A quarta seção apresenta os resultados e as discussões do estudo. A quinta seção apresenta a conclusão derivada dos resultados obtidos e, por fim, a sexta seção remete o leitor às referências utilizadas.

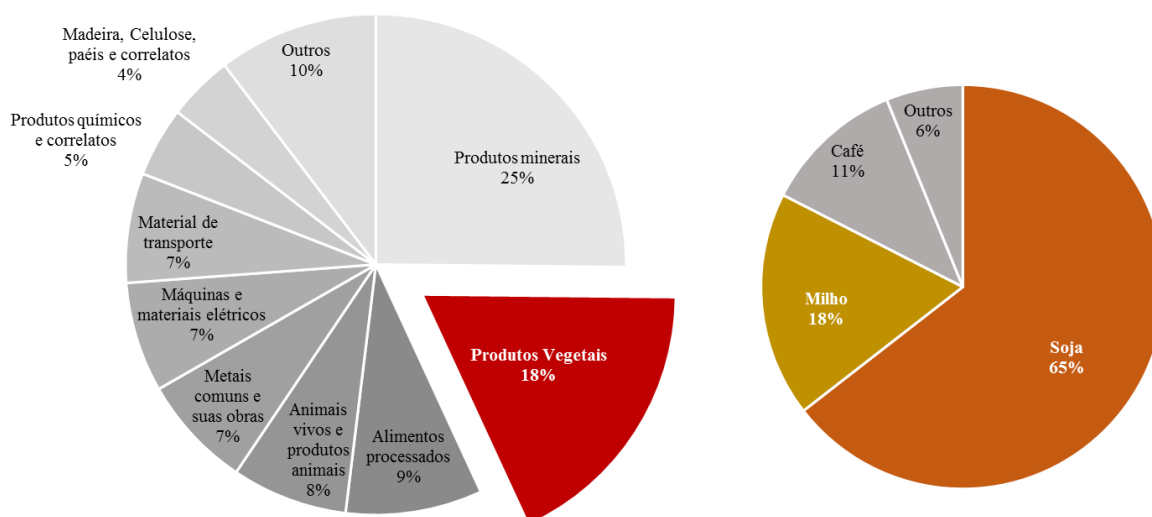
2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA DO AGRONEGÓCIO

O Produto Interno Bruto de todo agronegócio foi de 1,553 trilhões de reais em 2019, correspondendo a 21,4% do PIB brasileiro no mesmo ano. O ramo agrícola foi responsável por 14,6% e o ramo pecuário por 6,8% do PIB nacional, no mesmo ano, sendo que a área de serviço no ramo agropecuário apresenta maior participação, com 5,6% do PIB nacional (CEPEA; CNA, 2020).

De acordo com estimativas oficiais do ME (2020), o Brasil exportou cerca de US\$ 225,383 bilhões em divisas no ano de 2019, sendo que 18% desse total é representado por produtos vegetais em que 83% é composto por duas culturas: soja (65%) e milho (18%). A receita *Free on Board (FOB)* para a soja em 2019 foi de US\$ 26,077 bilhões e para o milho correspondeu a US\$ 7,29 bilhões. Combinados, a oleaginosa e o cereal corresponderam a 14,8% da receita com exportação do país em 2019 (vide Figura 1).

Figura 1 - Participação na receita (valor FOB) com a exportação por seção (esquerda) e composição do setor de produtos vegetais (direita)



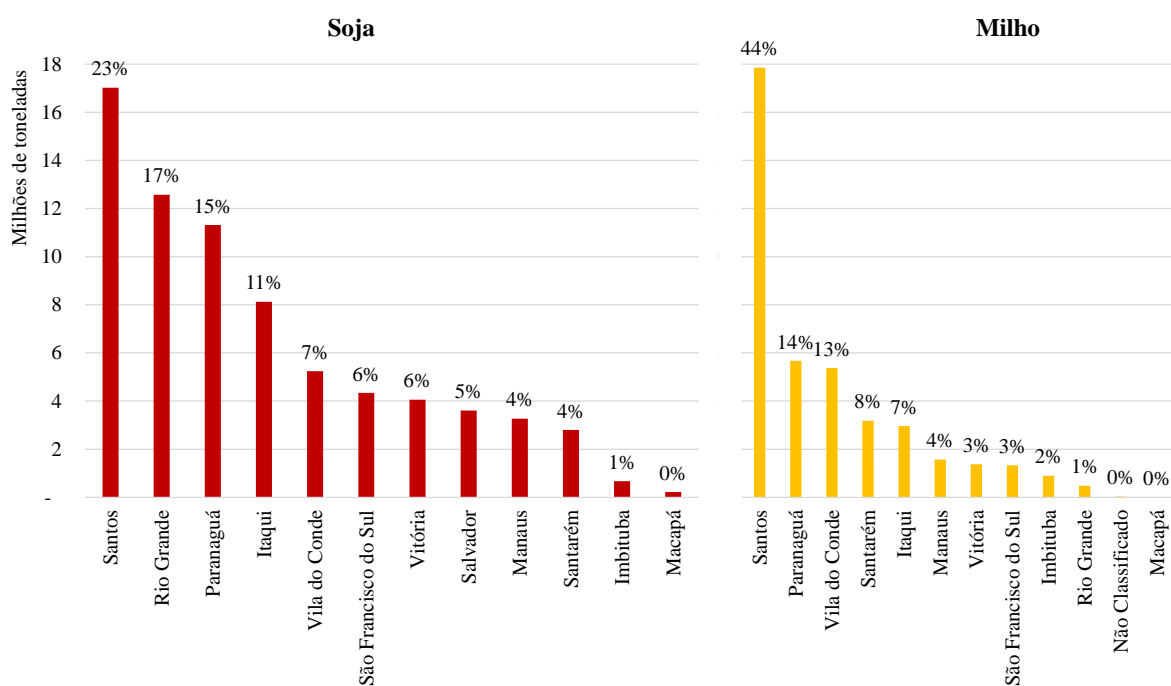
Fonte: Elaborado pelo autor com base em ME (2020)

Em termos de volume e peso, os minérios aumentam sua participação de 25% em termos contábeis para 66% em termos de volume exportado (440,56 milhões de toneladas) e os produtos vegetais mantêm a proporção de 18% de toda carga exportada pelo país,

contabilizando 122,636 milhões de toneladas, sendo 95% referentes a soja e milho. Isso implica a condição de baixo valor agregado das principais *commodities* exportadas pelo país.

A Figura 2 apresenta a relevância de cada porto em termos de volume exportado das duas *commodities* agrícolas estudadas (ANTAQ, 2020). O complexo portuário de Santos é o que representa maior importância na exportação de ambos os produtos, somando quase 18 milhões de toneladas de cada grão. O complexo paranaense, representado pelos portos de Paranaguá e Antonina, é o terceiro colocado para soja, com 11,312 milhões de toneladas de soja e o segundo colocado para o cereal, com 5,67 milhões de toneladas. Rio Grande representa 15% da exportação total de soja mas apenas 1% do total de milho, pelo fato de este porto ter características de captação regional de carga e pelo estado gaúcho não ser um grande exportador da sua produção de milho, que permanece no mercado consumidor interno.

Figura 2 - Volume exportado (absoluto e relativo) de soja e milho por complexo portuário em 2019

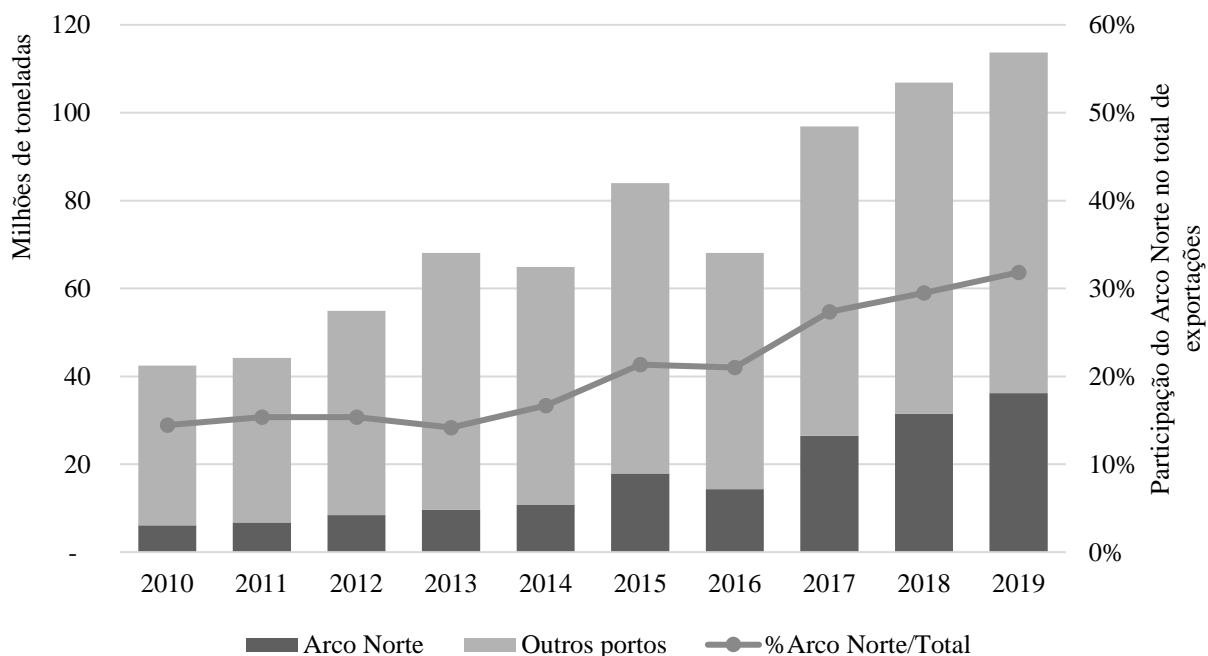


Fonte: Elaborado pelo autor com base em ANTAQ (2020)

Os portos do corredor exportador localizado nas porções norte e nordeste do país (Itaqui, Vila do Conde, Salvador, Ilhéus, Manaus e Santarém) corresponderam a aproximadamente 32% do total de soja e milho exportados no ano de 2019. Esse percentual é crescente ao longo dos

anos, como pode ser observado na Figura 3 (partiu-se de 14% em 2010, referentes a 6,131 milhões de toneladas, para 32% em 2019, com 36,206 milhões de toneladas).

Figura 3 - Importância dos portos do Arco Norte na exportação de soja e milho (2010 a 2019)

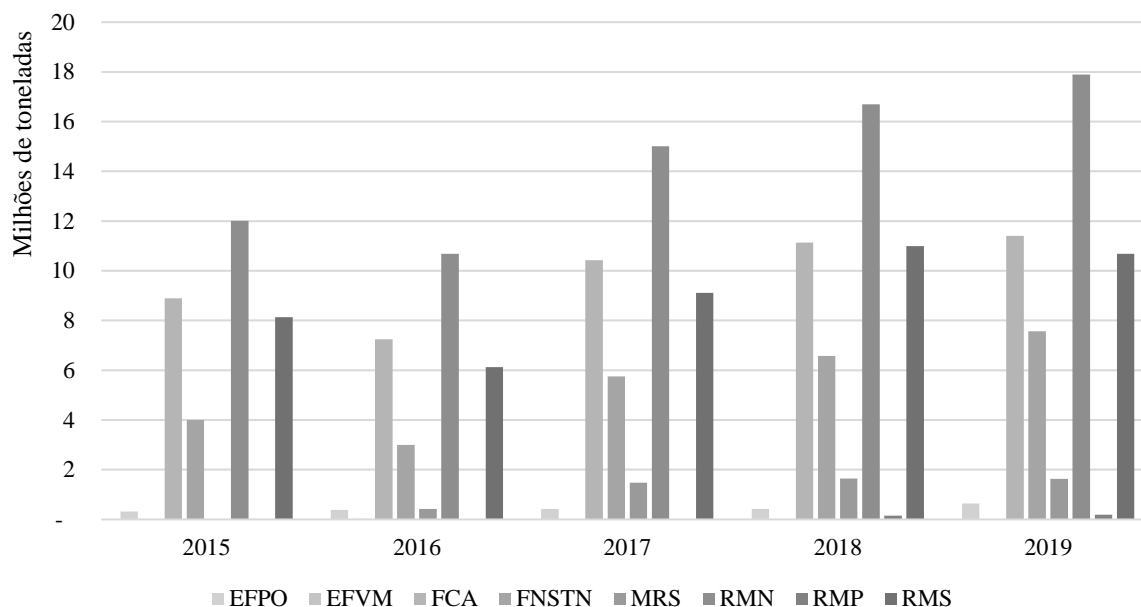


Fonte: Elaborado pelo autor com base em ANTAQ (2020)

A utilização de multimodalidade também é impulsionadora da utilização dos portos do Arco Norte, principalmente no modal hidroviário, sendo o transporte fluvial pelos rios Madeira e Tapajós bastante representativo (terminal de Porto Velho, localizado no município homônimo em Rondônia e de Miritituba, localizado em Itaituba, no Pará). Miritituba movimentou 299,7 mil toneladas de milho e 468,3 mil toneladas de soja em 2014, primeiro ano de operação e em 2019 o volume chegou a 3,7 milhões de toneladas do cereal e a 3,3 milhões de toneladas da oleaginosa. Porto Velho tem operação com crescimento em menor escala, sendo 2,1 milhões de toneladas de milho e 2,2 milhões de toneladas de soja em 2015 e 2,6 milhões de milho e 4,8 milhões de soja em 2019 (ANTAQ, 2020).

As movimentações ferroviárias também apresentam padrão de crescimento no país (Figura 4), totalizando 50,02 milhões de toneladas úteis em 2019 frente 33,4 milhões de toneladas úteis em 2015 (Figura 4), sendo a Rumo Malha Norte (RMN) a principal ferrovia, com 17,9 milhões de toneladas embarcadas em 2019, com o terminal de Rondonópolis ficando responsável por 15,05 milhões de toneladas (ANTT, 2020a).

Figura 4 - Movimentação ferroviária de soja e milho por malha (2015 a 2019)



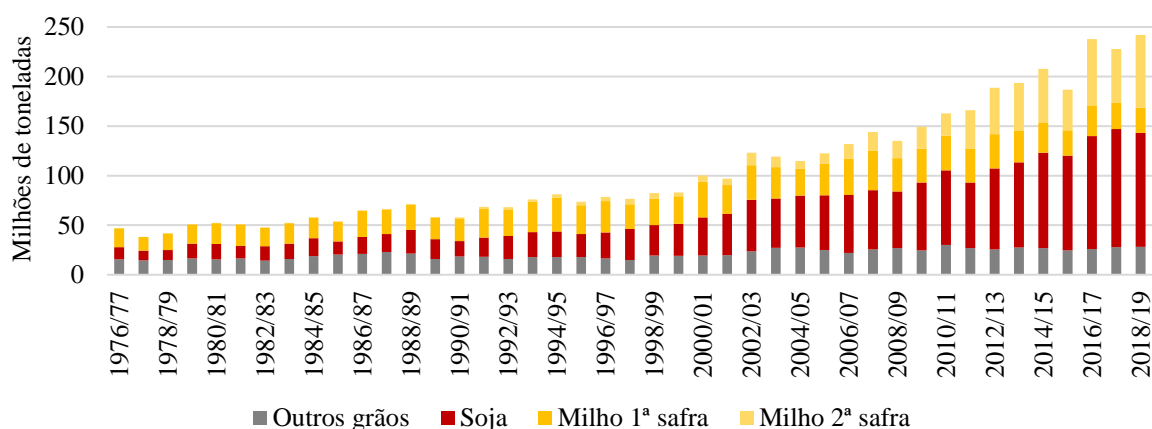
Fonte: Elaborado pelo autor com base em (ANTT, 2020a)

2.2 SOJA E MILHO

A produção brasileira de soja foi de 119,282 milhões de toneladas no ano safra 2017/18 e de 115,03 milhões de toneladas na safra 2018/19 (CONAB, 2020). A safra de milho, por sua vez, foi de 80,710 milhões de toneladas em 2017/18 e de 100,043 milhões de toneladas em 2018/19. A Figura 5 apresenta a evolução da produção de grãos no Brasil, desde o início do acompanhamento das safras pela Companhia Nacional de Abastecimento, na safra 1976/77. É observado grande aumento na produção de soja e milho (847% e 420%, respectivamente), que fizeram com que a produção total de grãos do país também aumentasse em 415%, comparando o primeiro e último ano de análise. A taxa anual de crescimento médio da produção de soja de 2010 a 2019 é de 6,41% e a taxa anual de crescimento médio ponderado das duas safras de milho é de 10,64%.

O calendário agrícola das principais regiões produtoras diz respeito ao plantio nos meses de outubro a dezembro e colheita entre janeiro e maio, com foco nos meses de fevereiro a abril. O milho tem duas safras bem definidas, sendo a primeira com calendário semelhante ao da safra de soja e a segunda safra tendo o plantio iniciado no mês de janeiro até março e a colheita a partir do mês de junho, com finalização nos meses de agosto e setembro. A segunda safra do cereal é a principal em termos de volume produzido (53,899 milhões de toneladas em 2017/18 e 73,178 milhões de toneladas no ano-safra seguinte), tendo seu principal destino o mercado exportador, ao contrário da primeira safra que é absorvida pela demanda do mercado interno.

Figura 5 - Série histórica da Produção de grãos no Brasil (1976/77 a 2018/19)

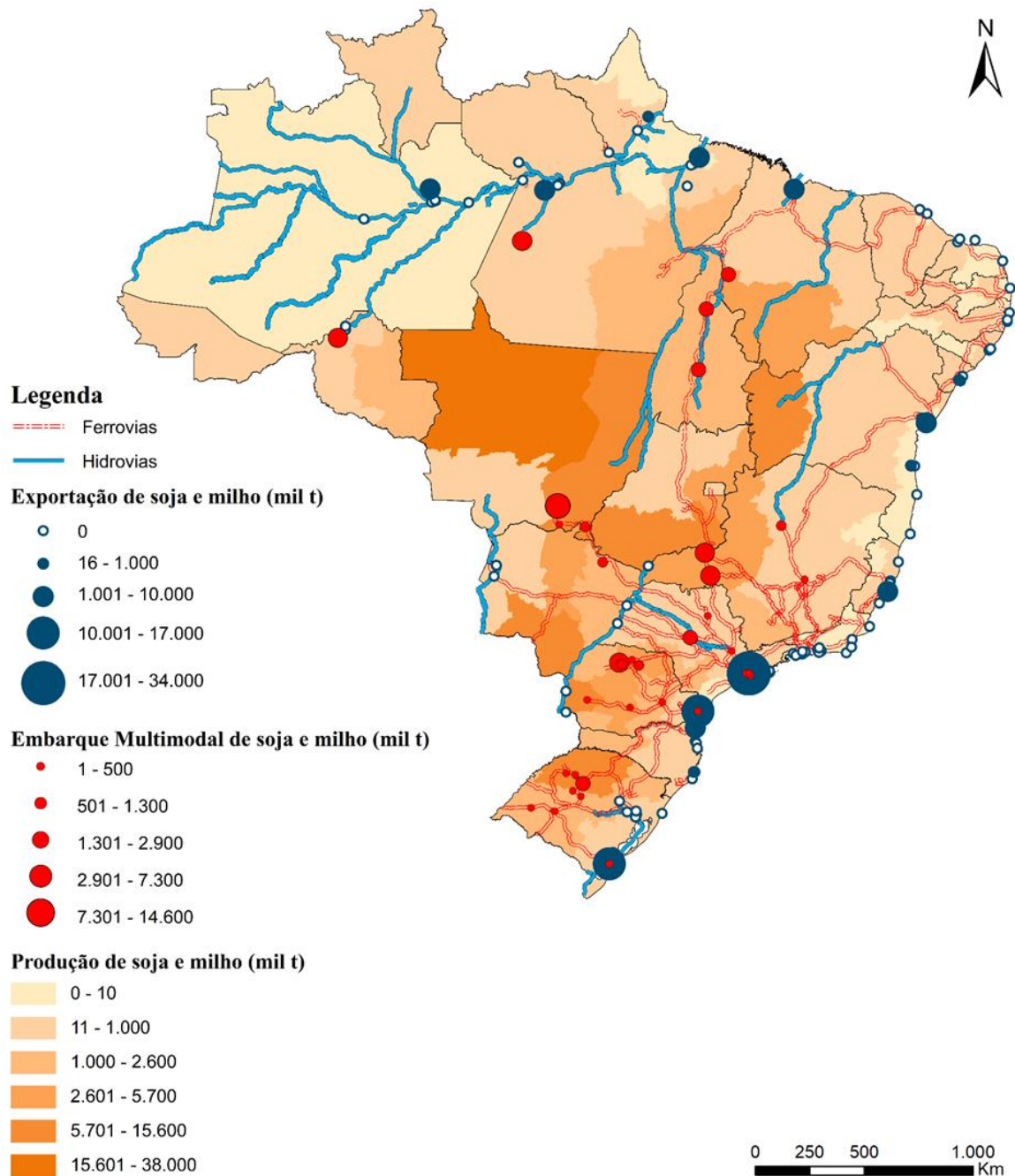


Fonte: Elaborado pelo autor com base em CONAB (2020)

Na Figura 6 observa-se a disposição da produção total de soja e de milho no ano de 2018 pelas 137 mesorregiões brasileiras, de acordo com o IBGE (2019a), com destaque para o estado do Mato Grosso, oeste do Paraná, noroeste do Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul, Goiás e oeste baiano, além de todos os outros estados com produção reportada, principalmente no que se diz respeito ao cereal.

Observa-se, também, na imagem reproduzida na Figura 6, todas as vias fluviais e malhas ferroviárias que podem caracterizar fluxo de produtos no país, além da classificação de portos que são representativos para a exportação de soja e milho e o respectivo volume embarcado em esferas azuis (ANTAQ, 2020). O embarque nos terminais ferroviários e nos terminais hidroviários localizados em Porto Velho (RO) e Itaituba (PA) também estão destacados (esferas vermelhas).

Figura 6 - Mapa com Produção de soja e milho por mesorregião, demanda dos portos e terminais multimodais e infraestrutura multimodal existente (2018)

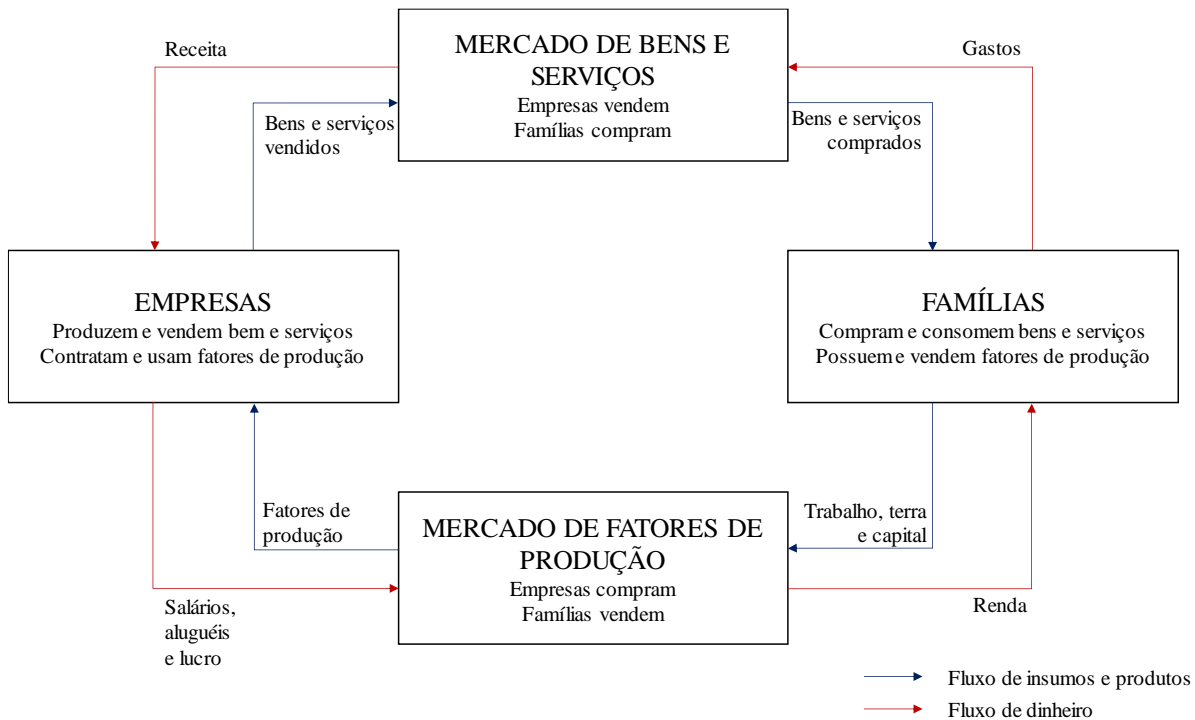


Fonte: Elaborado pelo autor com base em ANTAQ (2020), ANTT (2020a) e IBGE (2019a)

Como parte da teoria econômica, tem-se o modelo de fluxo circular simplificado com dois agentes (empresas e famílias), dois mercados (de bens e serviços de fatores de produção) como exemplificado na Figura 7. Por ser um modelo circular, há duas abordagens a respeito da relação entre oferta e demanda. Na abordagem clássica, a oferta é precedente e com a

produção de um determinado bem, seu consumo é seguido. Pela ótica keynesiana, a demanda é determinante no momento inicial, de modo que a necessidade entendida é suprida pelo mercado (Mankiw, 2020).

Figura 7 - Modelo de fluxo circular simplificado



Fonte: Adaptado de Mankiw (2020)

No mercado de produtos agroindustriais, o avanço na demanda absorveu o forte crescimento da produção, principalmente relacionado ao avanço da produtividade. A principal razão do crescimento de demanda está relacionada ao desenvolvimento dos países, com maiores níveis de renda, aumentando o consumo de proteínas, frutas e vegetais (Aguiar; Hurst, 2005; Boehlje et al., 2003). Nesse mercado, choques de oferta são raramente correlacionados pela divergência na localização das produções em um contexto global, fazendo com que as variações na demanda apresentem maior impacto no preço dos produtos (Gilbert, 2010).

As *commodities* agroindustriais têm comportamento de preços sujeito a muitos fatores endógenos, diferentemente de outras *commodities* (Kavussanos; Visvikis, 2011), como condições biológicas de produção (Peterson; Tomek, 2005) e características de colheita (Chambers; Bailey, 1996) e exógenos, como bolhas especulativas (Sanders; Irwin; Merrin, 2010; Zhang et al., 2019), volatilidades de mercado (Du; Yu; Hayes, 2011); competição e

similaridade com outros mercados (Alam; Haerani; Singagerda, 2019; Persson, 2015) e interferências governamentais (Roberts; Schlenker, 2013).

Normalmente, os preços tendem a ser inferiores no momento da colheita e superiores no restante do ano. A Tabela 1 apresenta o calendário das safras dos produtos estudados (CONAB, 2020), na qual observa-se que há convergência no momento de colheita de soja e milho (primeira safra) no primeiro semestre nas principais regiões produtoras (Centro-Oeste, Sudeste e Sul). No segundo semestre, a colheita da safra de soja das regiões Norte e Nordeste ocorre nos meses em que a segunda safra de milho, com maior produção, também é colhida.

Tabela 1 - Calendário das safras de soja e milho (1ª e 2ª safra) para os meses de plantio (P) e colheita (C)

Produto	Região \ Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Soja	Norte	P	P	P	P	P	PC	C	C	C	C		
	Nordeste	P	P	C	C	C	C	C			P	P	P
	Centro-Oeste	C	C	C	C	C					P	P	P
	Sudeste		C	C	C	C					P	P	P
	Sul		C	C	C	C					P	P	P
Milho 1ª safra	Norte	P		C	C	C	C				P	P	P
	Nordeste			C	C	C	C				P	P	P
	Centro-Oeste		C	C	C	C				P	P	P	P
	Sudeste		C	C	C	C				P	P	P	P
	Sul	PC	C	C	C	C	C	C		P	P	P	P
Milho 2ª safra	Norte	P	P	P	P	P	PC	C	C	C	C	C	
	Nordeste	P	P	P	P	P	PC	C	C	C	C	C	
	Centro-Oeste	P	P	P			C	C	C	C			
	Sudeste	P	P	P			C	C	C	C			
	Sul	P	P	P			C	C	C	C			

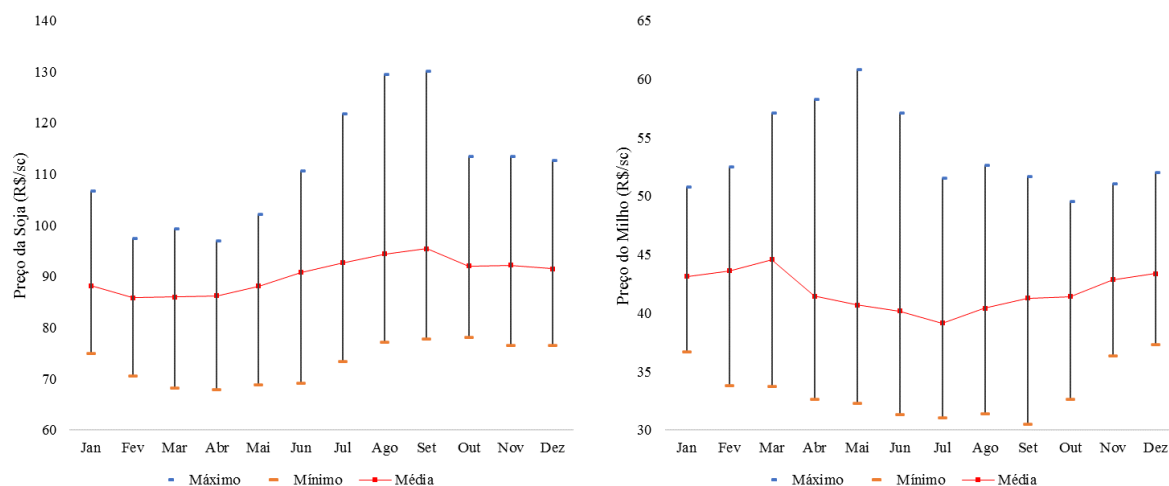
Fonte: Elaborado pelo autor com base em (CONAB, 2020)

A grande disponibilidade de grãos faz com que os preços no mercado se reduzam nos momentos de maior oferta. Isso é visível na Figura 8, em que nos meses de colheita de soja nas principais regiões produtoras (Centro-Oeste e Sudeste) - entre janeiro e maio - os preços médios são os menores registrados. Já no segundo semestre, o preço da *commodity* é maior, apresentando também maior amplitude nas possibilidades de ganhos.

Para o milho, a situação é a mesma, mudando apenas os meses em que há maior oferta do cereal, com a redução nos preços começando com a produção do estado do Rio Grande do Sul durante o primeiro semestre e acentuada após a colheita da segunda safra no Centro-Oeste e

no estado do Paraná no início do segundo semestre, sendo que até o final do ano os preços comumente apresentam uma escalada devido à redução nos estoques disponíveis.

Figura 8 - Média, mínima e máxima de preços mensais deflacionados de soja e milho entre 2010 e 2019 por mês



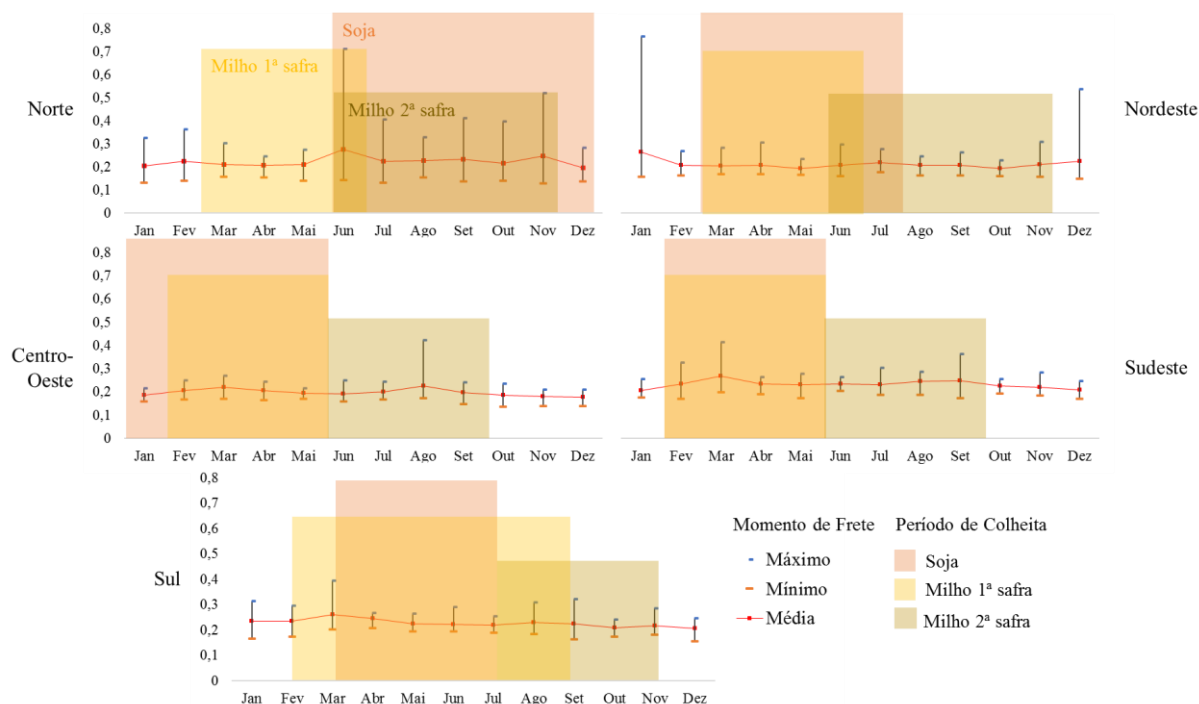
Fonte: Elaborado pelo autor com base em CEPEA (2020a, 2020b), valores deflacionados com base em dezembro de 2019 (FGV IBRE, 2019)

2.3 MERCADO DE FRETES AGROINDUSTRIAIS

O comportamento do mercado de fretes rodoviários de produtos agroindustriais também se assemelha a um mercado de competição perfeita, com atuação entre ofertantes da atividade de transporte e demandantes de transporte (Castro, 2003; Gameiro, 2003). Em maio de 2018, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2020b) instituiu a Política Nacional de Pisos Mínimos do Transporte Rodoviário de Cargas (PNPM-TRC) para garantir a remuneração mínima aos transportadores rodoviários que atuam em todos os segmentos, incluindo o agronegócio, o que reduziu a liberdade na negociação de fretes (João et al., 2019b).

A Figura 9 apresenta os valores médios, mínimos e máximos de fretes para cada mês e os calendários de colheita de cada região do Brasil. Observa-se que os picos nos valores médios de frete se dão nos meses de março e agosto na região Centro-Oeste, sendo na metade do período de colheita da primeira e segunda safra, meses em que, comumente, a produção colhida é maior.

Figura 9 - Média, mínima e máxima de momento de fretes mensais deflacionados de soja e milho entre 2010 e 2019 por mês e região de origem para rotas com distância igual ou superior a 100 km (em R\$/t.km)



Fonte: Elaborado pelo autor com base em CONAB (2020), ESALQ-LOG (2020a), valores deflacionados com base em dezembro de 2019 (FGV IBRE, 2019)

No Sudeste, os picos ocorrem nos meses de março e setembro, com manutenção de altos valores entre esses meses, sendo que a região tem grande influência da produção de açúcar, em que a safra de cana-de-açúcar se inicia em agosto e vai até os meses de outubro e novembro (Castro, 2003). No Sul, os fretes aumentam em março com o início da colheita de soja e milho no primeiro semestre, sendo que no segundo semestre a produção desses grãos é menor, pelas condições climáticas e competição com outras culturas como trigo, triticale e arroz.

2.4 IMPORTÂNCIA DE SE ARMAZENAR

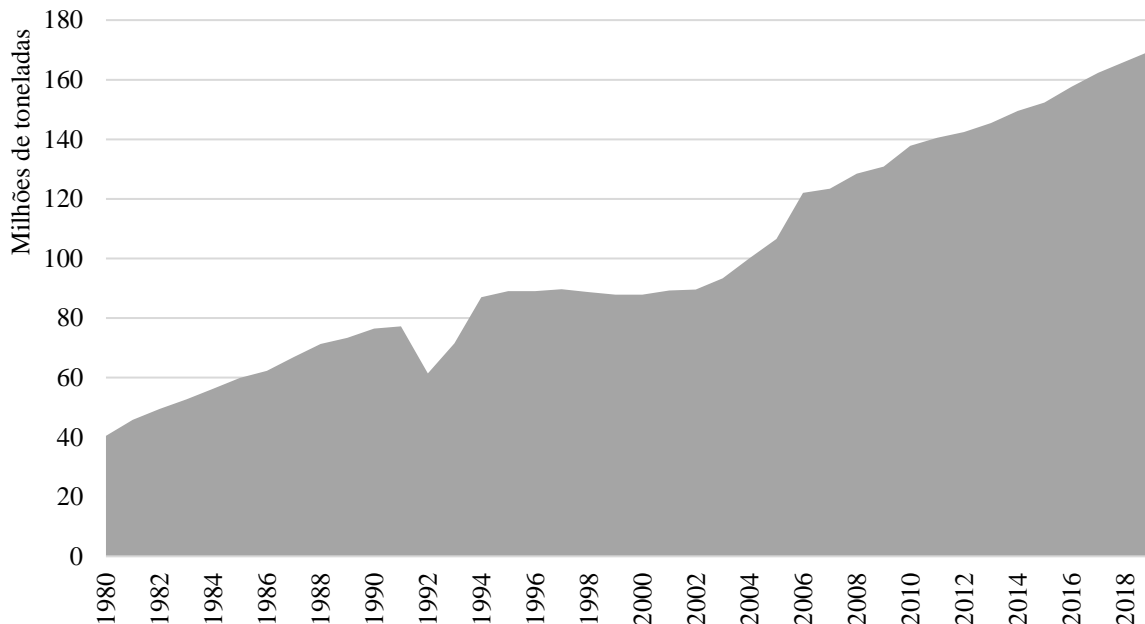
Visto que no momento da colheita os preços dos grãos são menores (receita do produtor) e os fretes são maiores (custos de distribuição), sob um ponto de vista microeconômico, de um produtor inserido no mercado, é interessante armazenar sua produção para comercializá-la em momento oportuno, aumentando a lucratividade.

Assim, a utilização de armazenagem apresenta possibilidade de maiores ganhos para o produtor, principalmente através do escoamento no segundo semestre (ESALQ-LOG, 2018;

João et al., 2019a; Rocha et al., 2019; Rocha; João; Caixeta-Filho, 2017); entretanto, não há capacidade estática para comportar a produção desses grãos, o que evidencia a ocorrência da comercialização e movimentação desses grãos logo após a colheita, reduzindo a lucratividade potencial do produtor rural.

A capacidade estática brasileira, segundo a CONAB (2019a), também apresenta padrão de crescimento (Figura 10), com taxa anual média de crescimento de 3,94% desde o primeiro ano do mapeamento, 1980, e 2,65% desde 2010, que é inferior à taxa de crescimento da produção dos dois principais grãos do país, contribuindo para o déficit de armazenagem.

Figura 10 - Série histórica da capacidade estática de armazenagem no Brasil (1980 a 2019)



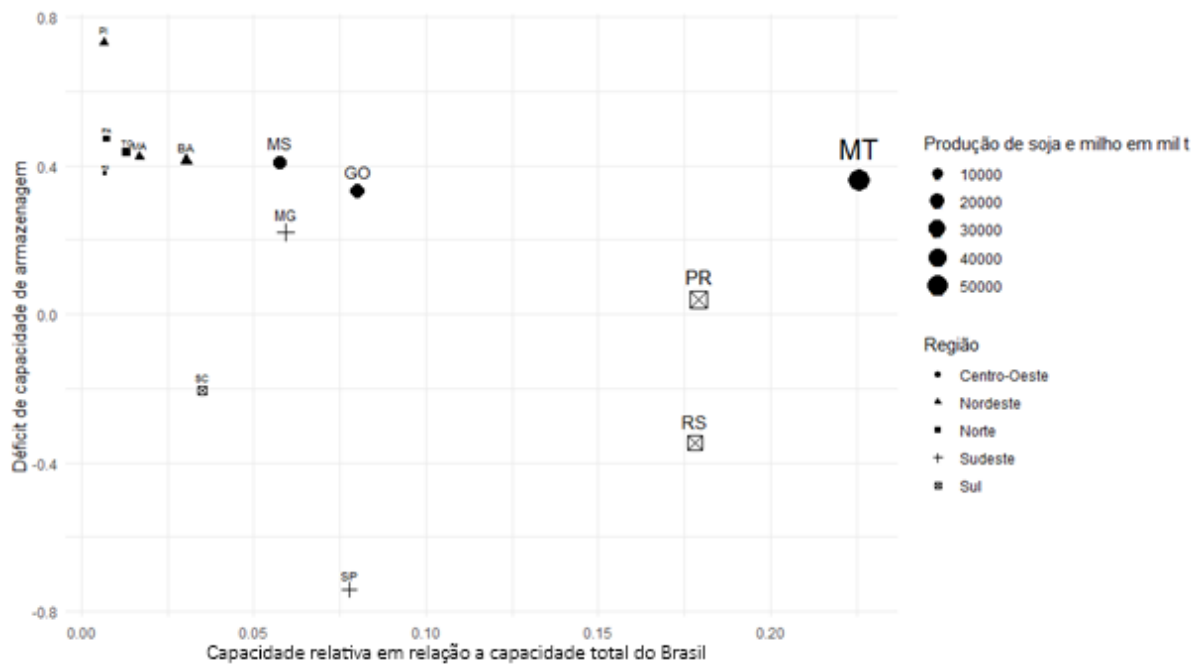
Fonte: Elaborado pelo autor com base em CONAB (2019a)

O déficit de armazenagem ($DFARM$), dado em (1), é a relação entre a produção total de grãos ($prod$) e a capacidade estática de armazenagem ($cest$) para uma região i (ESALQ-LOG, 2020b). Se $DFARM > 0$, há déficit de armazenagem, que representa a porcentagem da produção que não pode ser armazenada no estado; caso contrário, a capacidade estática de armazenagem é suficiente para armazenar toda produção.

$$DFARM_i = 1 - \frac{cest_i}{prod_i} \quad (1)$$

Em 2018, o déficit da capacidade estática brasileira, somente considerando as produções de soja e milho, foi de 16,95%, ou seja, o total de capacidade instalada de armazenagem não era suficiente para armazenar a produção de soja e milho, desconsiderando os outros produtos que também utilizam os mesmos armazéns (CONAB, 2019a, 2020; ESALQ-LOG, 2020b). A Figura 11 apresenta a distribuição do déficit de capacidade estática para os estados brasileiros com produção superior a 1 milhão de toneladas de soja e milho (combinados).

Figura 11- Distribuição da capacidade estática de armazenagem em 2018 por UF com produção de soja e milho superior a 1 milhão de toneladas



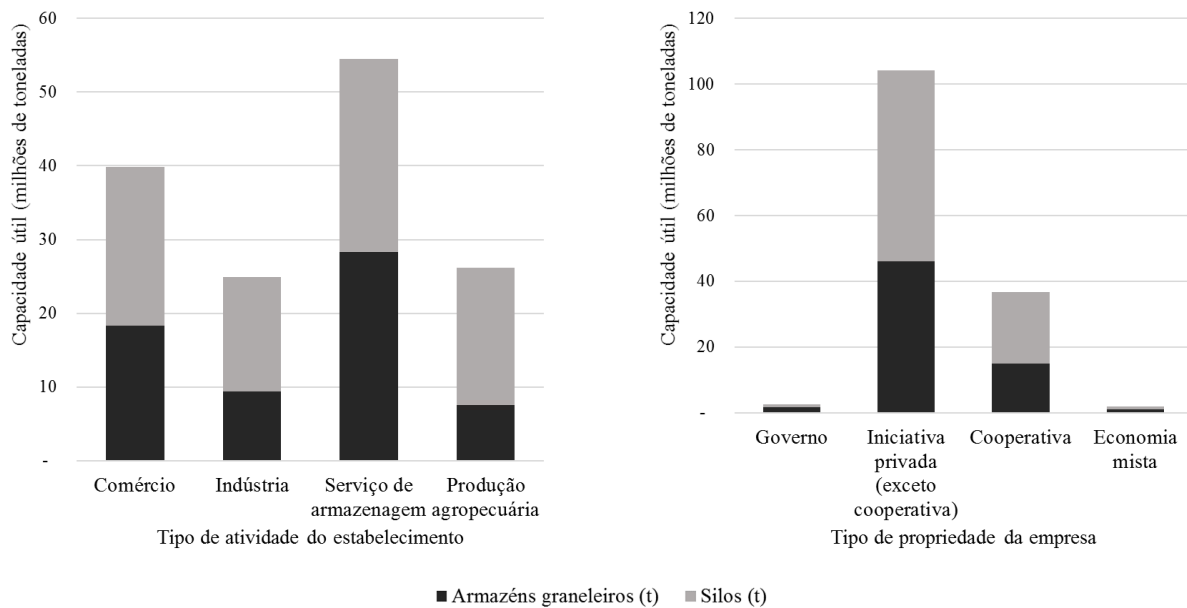
Fonte: Elaborado pelo autor com base em CONAB (2019a, 2020) e ESALQ-LOG (2020b)

O principal estado produtor, Mato Grosso, tem déficit de armazenagem da ordem de 36% e o segundo maior estado produtor, Paraná, apresenta déficit de 4%. A região sul é a única região que não apresenta déficit de capacidade estática, com média ponderada de -12,67%, ou seja, superávit de 12,67% frente à produção. Todas as outras regiões apresentam déficit, sendo que no Nordeste do país - região de fronteira agrícola - o déficit é maior.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019b) também disponibiliza estatísticas de estoques de produtos a granel (vide Figura 12). De acordo com o Instituto, a capacidade útil total de armazéns graneleiros e silos era de 145,51 milhões de toneladas no segundo semestre de 2018. Os principais armazéns não estão nas fazendas, sendo que a

capacidade estática nas fazendas é de apenas 26,2 milhões de toneladas (18,01%), com empresas que prestam serviço de armazenagem (comumente chamados de armazéns terceirizados) representando a maior fatia, com 54,52 milhões de toneladas (Figura 12). Do total de estabelecimentos, 96,79% são geridos pela iniciativa privada, sendo 25,21% por cooperativas e 71,58% outros detentores privados. O governo é responsável pela minoria, sendo 2,64 milhões de toneladas em propriedades geridas exclusivamente pelo Estado e 2,02 milhões de toneladas em propriedades com economia mista.

Figura 12 - Capacidade útil das unidades armazenadoras por tipo de unidade, atividade do estabelecimento (esquerda) e propriedade da empresa (direita)



Fonte: Elaborado pelo autor com base em IBGE (2019c)

2.5 TARIFA DE ARMAZENAGEM EM ARMAZÉNS DE TERCEIROS

Pela capacidade estática insuficiente, os custos de armazenagem são considerados altos. Normalmente, a tarifa de armazenagem ($PARM$) é formada por três componentes: (i) tarifa fixa (TF); (ii) tarifa variável (TV); e (iii) quebra técnica (qt), e está apresentada na Equação (2) para um armazém da região i por n dias armazenados, considerando dias de carência (c) e o preço de comercialização (pc) (ESALQ-LOG, 2020b).

$$PARM_{i,n} = TF_i + \frac{(n - c_i) * TV_i}{30} + qt_i * pc_i, \quad \text{para } n < c, TV_i = 0 \quad (2)$$

O período médio de carência (c) para soja é de 29 dias em Goiás, 41 dias no Mato Grosso e 20 dias no Mato Grosso do Sul e para o milho é de 28 dias em Goiás, 40 dias no Mato grosso e 15 dias no Mato Grosso do Sul. Considerando esses períodos de carência, a tarifa de armazenagem seria de R\$ 31,96/t para soja e R\$ 31,85/t para o milho no MT, R\$ 31,50/t para soja e R\$ 28,43/t para milho no MS e R\$ 31,44/t para soja e R\$ 29,19/t para o milho em GO. A partir das tarifas de armazenagem ao longo de um período, obtém-se pelo método dos mínimos quadrados as Equações (3), (4) e (5), com R^2 de 0,9152, 0,9206, 0,9936, para os estados de MT, MS e GO respectivamente (ESALQ-LOG, 2020b).

$$PARM_{MT,n} = 0,5086n + 25,446 \quad (3)$$

$$PARM_{MS,n} = 0,7833n + 24,613 \quad (4)$$

$$PARM_{GO,n} = 0,5603n + 23,993 \quad (5)$$

Essas atividades envolvidas no processo de comercialização e distribuição dos grãos (armazenagem e transporte) representam custos que têm o potencial de mitigar o lucro do produtor, caso a decisão tomada não seja correta. Por isso, ferramentas para o auxílio a tomada de decisão e que favorecem o planejamento das operações de estocagem e transporte são importantes para o gerenciamento da logística agroindustrial.

2.6 APLICAÇÕES DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

De acordo com o *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP, 2020), o termo *Logistics management* é definido como o gerenciamento de atividades que tipicamente incluem o gerenciamento de transportes, frota, armazenagem, manuseio de materiais, pedidos, desenho de redes logísticas, controle de estoque, planejamento de oferta e demanda e gerenciamento de terceiros e provedores de serviços logísticos. O Conselho também define como *Supply Chain Management* todas as atividades envolvendo suprimento (aquisição), conversão e todo gerenciamento de atividades logísticas. Como visto em Ahumada e Villalobos (2009), de acordo com Beamon (1998), o planejamento da cadeia de suprimentos é composto de três principais processos de tomada de decisão: planejamento da produção, controle de estoque e distribuição física. Fleischmann, Meyr e Wagner (2015), por sua vez,

fazem quatro subdivisões para as atividades relacionadas à cadeia de suprimentos: aquisição, produção, distribuição e vendas.

Em termos gerais, as atividades logísticas são representadas como custos no processo produtivo. Em 2016, o percentual dos custos logísticos em relação ao PIB foi de 12%, sendo 6,6% custos de transporte, 4,1% custos de estoque, 0,8% armazenagem e 0,4% administrativo (ILOS, 2017). Dessa forma, a otimização dos processos logísticos é essencial para a redução nos custos e aumento na lucratividade dos agentes e redução nos custos finais para os compradores.

Técnicas de pesquisa operacional são amplamente utilizadas para resolução de problemas de gerenciamento de logística e cadeia de suprimentos. Há diversas possibilidades no que se diz respeito às variáveis de decisão em problemas de otimização envolvendo cadeia de suprimentos ou logística, podendo ser de planejamento de produção e distribuição (*scheduling*), níveis de estoque, número de estágios (*echelons*) de produção, centros de distribuição (*customer assignment*), plantas industriais (*product assignment*), relações com fornecedores, diferenciação dos produtos em cada processo e número de produtos em estoque (BEAMON, 1998).

Problemas de cunho logístico podem ser resolvidos por via de modelagem com métodos exatos ou através de algoritmos de aproximação (heurísticas ou meta-heurísticas), utilizando informações determinísticas ou estocásticas. É possível combinar diversas abordagens para que haja maior aproximação entre o modelo escolhido e implementado com a representação da realidade a que esse se sujeita, além de se escolher a melhor métrica de otimização, podendo ser minimização de custos e/ou procedimentos ou maximização de grandezas como receitas, margem ou lucro. Nesta seção, alguns exemplos foram compilados como forma de ilustrar aplicações de técnicas de pesquisa operacional para problemas envolvendo transbordo, armazenagem que, principalmente, envolvam áreas do primeiro setor, com maior foco em *commodities* agrícolas.

Sharma e Jana (2009) utilizam de meta-heurística através de modelagem híbrida com algoritmo genérico para resolver um problema programação de objetivo *Fuzzy* (FGP) – relacionado ao transbordo de petróleo - como forma de obter maior liberdade e tolerância à

avaliação do tomador de decisão quanto aos resultados encontrados, de forma a poder se alterar o objetivo ou os níveis de tolerância até que o resultado encontrado seja satisfatório.

Tangkitjaroenmongkol, Kaittisin e Ongwattanakul (2011) utilizam do método de *p-medianas*, um método exato de baixa complexidade, para encontrar as melhores localizações para implementação de pontos de recebimento de mandioca na Tailândia, obtendo redução de 49,5% em custos de investimento e 13,3% em distância total percorrida frente à alocação tradicional da cadeia de suprimentos desse produto no país.

Os modelos que incorporam a existência de armazéns, como a maior parte dos modelos de transbordo, podem divergir entre o formato de precificação do serviço de armazenagem, principalmente dados a posse ou aluguel do espaço de armazenagem. Wutthisirisart, Sir e Noble (2015) analisam um problema com dois armazéns, sendo um próprio e outro alugado para a movimentação de quatro materiais para a planta de produção através de estrutura matemática linear, obtendo resultados de economia entre 20% e 40% nos custos através de utilização mesclada em ambas as opções. Yu (2019) também considera dois armazéns na rede de um problema de transbordo, adicionando custos como atraso, período de crédito e aluguel decrescente do espaço de armazenagem, em que a maximização do valor presente é obtida quando há maior integração entre os fornecedores e compradores, reduzindo assim os custos totais. Lucas e Chhajed (2004) compilam aplicações de técnicas de otimização linear em problemas de localização em cadeias agroindustriais, reforçando a grande aplicabilidade dessas técnicas no agronegócio, havendo, mesmo assim, um número reduzido de exemplos na literatura.

Além da minimização de custos, há problemas que optam pela maximização de lucros, como é o caso de Merener et al. (2016) que utilizam de programação linear para otimizar o escoamento de grãos de forma determinística e temporal para a Argentina, comparando os resultados com a heurística utilizada pelo grupo alimentício *Los Grobos*. Encontram resultados positivos, havendo aumento nos lucros na ordem de 4,56% ao se reduzir o número de transações em 1,14%.

Para o agronegócio, há a possibilidade de se utilizar modelos de otimização em parte do processo ou em toda a cadeia. Lamsal, Jones e Thomas (2017) analisam a cadeia de cana-de-açúcar no Brasil e através de programação inteira mista com utilização de heurística para

encontrar uma primeira solução factível. Encontraram resultados em que taxas de colheita de cana-de-açúcar variáveis levam à redução no tempo entre corte e processamento, reduzindo potenciais perdas produtivas, além de reduzir o número de veículos necessários para servir a lavoura. Com menor grau de dificuldade, dada a menor inclusão de particularidades, Milan, Fernandez e Aragonés (2006) também trabalham com a otimização da cadeia de cana-de-açúcar, minimizando os custos de transporte tendo como base um estudo de caso para Cuba. Através de programação inteira mista, os resultados apresentaram a melhor combinação para redução dos custos de transporte, concomitante com o planejamento diário do transporte e colheita.

Em outro estudo envolvendo planejamento e colheita de cana-de-açúcar no Brasil, Jena e Poggi (2013) utilizaram programação inteira mista optando pela maximização de lucros. Através de um estudo de caso, concluíram que ao se colher em campos próximos ao pico de maturação, há um aumento na distância percorrida pela equipe de corte; entretanto, o retorno é maior, com ganho de 2,6% nos lucros.

Também através de programação inteira mista combinada com métodos heurísticos, Mogale et al. (2019) estudam a cadeia de suprimento de grãos na Índia, agregando custos de emissão de gases do efeito estufa (GEE) aos custos de transporte (frete), junto com a definição das melhores localidades para a estabilização de armazéns graneleiros através de parâmetros determinísticos. Maiyar e Thakkar, (2019) também incorporam condições ambientais para otimização da logística intermodal de grãos, mas se utilizam de programação não-linear mista para resolução do problema proposto, encontrando maiores custos médios à medida que transbordos de carga são realizados.

Outros problemas com programação inteira mista aplicados à logística de cadeias de suprimento agroindustriais: para frutas e vegetais (Brulard et al., 2019; Etemadnia et al., 2015), produção e logística de leite (Paredes-Belmar et al., 2016), biomassa (Roni et al., 2014), produtos perecíveis (Ahumada; Villalobos, 2011; Claassen; Van Beek, 1993; De Keizer et al., 2017), açúcar (Higgins; Beashel; Harrison, 2006), frango (Brevik et al., 2020), peixes (Abedi; Zhu, 2017) e alimento *halal* (Kwag; Ko, 2019).

Branco e Caixeta-Filho (2011) estimaram a demanda de carga da Ferrovia Norte-Sul, uma opção de escoamento de soja e milho para o país, utilizando de um modelo de fluxo de custo

mínimo. Lopes et al. (2017), ao tratarem do mercado logístico de exportação de soja no Brasil, avaliam quatro cenários considerando as opções disponíveis, através de simulação discreta de eventos, concluindo que o porto de Vitória é a melhor opção de escoamento de grãos no Brasil, seguido pelos portos do Arco Norte. De acordo com os autores, as soluções localizadas ao norte do país seriam as melhores no que se diz respeito ao atendimento da demanda europeia pela oleaginosa e o sul seria a melhor opção para a Ásia; entretanto, como limitação destaca-se a consideração de se verificar apenas o estado do Mato Grosso como origem da produção.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentadas as informações a respeito da obtenção e tratamento dos dados utilizados como parâmetros para a modelagem e a estrutura de modelagem desenvolvida, além da contextualização e apresentação do método de otimização utilizado. Também serão definidos os cenários considerados e as respectivas particularidades de cada conjunto de análise.

Para realizar esta análise foram utilizadas informações oficiais obtidas através de dados secundários de bases governamentais e privadas, agregando todos os componentes dos custos logísticos como parâmetros. A modelagem será feita à luz das técnicas de pesquisa operacional, como programação linear e programação inteira mista, sendo considerados diversos cenários para análise.

O presente trabalho busca comparar as soluções logísticas atuais (corredores rodoviários, portos e terminais multimodais) em termos de custos totais e área de influência, definindo, portanto, as melhores possibilidades de movimentação de grãos para cada região produtora (mesorregião, estado ou região geográfica).

Ademais, o método de otimização a ser proposto deverá garantir que os resultados representem o ótimo global, ou seja, o mínimo custo para a cadeia analisada, através dos parâmetros considerados.

3.1 MATERIAIS

Para construção do modelo matemático que reproduz os fluxos ótimos de transporte, utilizou-se a produção de soja e milho por mesorregião (IBGE, 2019a) como informações relacionadas à oferta. Os dados anuais foram transformados em mensais com divisão igual nos meses que representam colheita de soja e milho, como apresentado anteriormente na Tabela 1, com cada mesorregião seguindo o calendário de colheita da região geográfica em que está inserida.

Quanto à demanda, essa pode representar a exportação ou o consumo no mercado interno dos grãos, seja para processamento e revenda ou para utilização como ração. Dessa forma, tem-se dois conjuntos de localidades que compõem a demanda: para a demanda externa, considerou-se, como conjunto K , os portos que embarcaram soja ou milho no ano de 2018 e o volume de embarque mensal e anual de cada produto (ANTAQ, 2020). Por não haver informações

oficiais a respeito da distribuição da demanda de consumo (interna) a nível nacional, este valor foi definido como o remanescente da produção (*PRODUÇÃO*) no ano considerado e dos estoques de passagem deixados pela safra anterior (*ESTINI*), subtraído do volume exportado ($DEMANDA^{exportação}$) e do estoque de passagem para a safra posterior (*ESTFIN*), conforme ilustra a Equação (6).

$$DEMANDA_{total}^{consumo} = ESTINI_{total} + PRODUÇÃO_{total} - (DEMANDA_{total}^{exportação} + ESTFIN_{total}) \quad (6)$$

Para desagregar essa demanda por Unidade Federativa (UF), considerou-se o município com maior concentração de rebanho bovino, galináceos e suínos ($Rebanho_r$) (IBGE, 2019b) como centroide, chamado de r para cada UF considerada ($r \in R$, sendo os 26 Estados e Distrito Federal). Para o milho, essa informação foi desagregada por UF pela ponderação do nível de $Rebanho_r$, presente em cada unidade federativa e para a soja a *proxy* escolhida foi a capacidade instalada de processamento de soja em toneladas/dia por unidade federativa (*CAPP*) (ABIOVE, 2020), sendo o mesmo centroide definido para ambos produtos.

Com o resultado da demanda de consumo em cada mesorregião no ano de análise, tornou-se necessária a distribuição ao longo dos meses. Como a demanda de consumo é enviada principalmente para a indústria beneficiadora de ração animal ou alimento humano, considerou-se que o recebimento ocorre de forma linear ao longo do ano, por isso a demanda de consumo mensal é definida como a demanda anual dividida por 12 (cada um dos meses).

Para desagregar as informações de ambos estoques de passagem, estoque inicial e estoque final para o nível de mesorregiões, considerou-se uma *proxy* de capacidade estática de armazenagem de cada mesorregião ($CAPA_i$) em relação ao total de capacidade estática de silos e armazéns graneleiros no Brasil no segundo semestre de 2018 (IBGE, 2019b). Assim, para o milho, o volume nacional de estoque de passagem das safras 2017/18 e 2018/19, considerado como estoque final e estoque inicial, respectivamente (CONAB, 2018, 2019b) foi diretamente dividido pela participação da capacidade estática da mesorregião. Para a soja, inicialmente houve uma divisão por unidade federativa seguindo outra *proxy* que representa a capacidade instalada de processamento de soja no país (*CAPP*) (ABIOVE, 2020), conforme ilustra a Equação (7), seguida pela divisão pela capacidade estática. As informações

desagregadas estão expressas nas Equações (8) para soja e (9) para milho. O *Estoque de Passagem* pode ser *ESTINI* ou *ESTFIN*.

$$\text{Estoque de Passagem}_r^{\text{soja}} = \frac{\text{Estoque de Passagem}_{\text{total}}^{\text{soja}}}{\text{CAPP}_r / \sum_{r \in R} \text{CAPP}_r} \quad (7)$$

$$\text{Estoque de Passagem}_i^{\text{soja}} = \frac{\text{Estoque de Passagem}_r^{\text{soja}}}{\text{CAPA}_i / \sum_{i \in r} \text{CAPA}_i} \quad \forall i \subseteq r, r \in R \quad (8)$$

$$\text{Estoque de Passagem}_i^{\text{milho}} = \frac{\text{Estoque de Passagem}_{\text{total}}^{\text{milho}}}{\text{CAPA}_i / \sum_{i \in I} \text{CAPA}_i} \quad \forall i \in I \quad (9)$$

Como estoque inicial e final, observou-se os dados de estoque de passagem das safras 2017/18 e 2018/19, respectivamente (CONAB, 2018, 2019b), sendo 4,57 milhões de toneladas de soja e 17,25 milhões de toneladas de milho em 2017/18 e 0,43 milhões de toneladas de soja e 13,86 milhões de toneladas de milho em 2018/19.

Como conexão entre os pontos de origem e destino, considerou-se as alternativas rodoviária e multimodal de acordo com as malhas disponíveis entre cada par origem e destino. Dessa forma, foram calculados fretes para toda a matriz utilizada.

O valor pago no transporte da produção (frete) para os produtos que, de acordo com (Gameiro; Caixeta-Filho, 2010) apresenta melhor ajuste, foi aquele relacionado à distância percorrida no transporte. Dessa forma, utilizou-se informações de fretes rodoviários para o ano de 2018 do Sistema de Informações de Fretes (ESALQ-LOG, 2020a). Foram definidas curvas mensais para diversos corredores de transporte - listados na Tabela 2 - para facilitar o cálculo dos valores de fretes das matrizes analisadas no modelo matemático.

Tabela 2 - Curvas de fretes consideradas

ID	Nome	Agrupamento	Origem	Destino
1	Geral	Nacional	Brasil	Brasil
2	CO-CO	Regional	Centro-Oeste	Centro-Oeste
3	CO-NE	Regional	Centro-Oeste	Nordeste
4	CO-NO	Regional	Centro-Oeste	Norte
5	CO-SE	Regional	Centro-Oeste	Sudeste
6	CO-SU	Regional	Centro-Oeste	Sul
7	NE-NE	Regional	Nordeste	Nordeste
8	NE-SE	Regional	Nordeste	Sudeste
9	NE-NO	Regional	Nordeste	Norte

(continua)

(conclusão)

ID	Nome	Agrupamento	Origem	Destino
10	NE-CO	Regional	Nordeste	Centro-Oeste
11	NE-SU	Regional	Nordeste	Sul
12	NO-NO	Regional	Norte	Norte
13	NO-SE	Regional	Norte	Sudeste
14	NO-NE	Regional	Norte	Nordeste
15	NO-CO	Regional	Norte	Centro-Oeste
16	NO-SU	Regional	Norte	Sul
17	SE-SE	Regional	Sudeste	Sudeste
18	SE-SU	Regional	Sudeste	Sul
19	SE-CO	Regional	Sudeste	Centro-Oeste
20	SE-NO	Regional	Sudeste	Norte
21	SE-NE	Regional	Sudeste	Nordeste
22	SU-SU	Regional	Sul	Sul
23	SU-SE	Regional	Sul	Sudeste
24	SU-CO	Regional	Sul	Centro-Oeste
25	SU-NO	Regional	Sul	Norte
26	SU-NE	Regional	Sul	Nordeste
28	Paranaguá	Destino	Brasil	Complexo portuário de Paranaguá
29	Rio Grande	Destino	Brasil	Complexo portuário de Rio Grande
30	Pará	Destino	Brasil	Portos e terminais do Estado do Pará
31	SFS	Destino	Brasil	Complexo portuário de São Francisco do Sul
32	Itaqui	Destino	Brasil	Complexo portuário de Itaqui
33	Porto Velho	Destino	Brasil	Terminal de Porto Velho
34	Rondonópolis	Destino	Brasil	Terminal de Rondonópolis
35	FNS	Destino	Brasil	Terminais de Ferrovia Norte-Sul (Tramo Norte)
36	Ferroeste	Destino	Brasil	Terminais da Ferroeste
37	Triângulo	Destino	Brasil	Terminais e demais localidades no Triângulo Mineiro
38	Bahia portos	Destino	Brasil	Complexo portuário de Aratu/Salvador

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas rotas com destino à exportação pelos portos ou terminais listados nas curvas de agrupamento “destino” (curvas 27 a 38), houve a priorização desta curva para a composição dos fretes. Para todos os outros fluxos, portos não listados ou rotas com destino ao mercado externo, utilizou-se as curvas do agrupamento “regional”, através das curvas que eram determinadas pela região da origem i e de destino j , sendo que todo o território nacional está abrangido nas curvas 2 a 26. A curva 1 (“nacional”) foi utilizada para balizamento e validação das informações.

Cada curva mensal segue a combinação de duas curvas estatísticas, elaboradas com base em informações do banco de dados do Sistema de Informações de Fretes - SIFRECA (ESALQ-LOG, 2020a). A construção das curvas segue as equações logarítmicas (10) e (11) para distâncias entre o ponto i (origem) e j (destino) superiores a um valor l e (12) para distâncias inferiores a l , em que a é o intercepto logarítmico e b é a inclinação logarítmica; c e d são o intercepto e a inclinação da curva linear. A combinação de ambas as curvas foi escolhida para eliminar dois problemas: a chance de valores abaixo dos valores efetivos (praticados no mercado) serem estimados para combinações de pequenas distâncias (o que é comum nas curvas logarítmicas) e a supervalorização dos fretes de longas distâncias (o que pode ocorrer nas curvas de extrapolação linear).

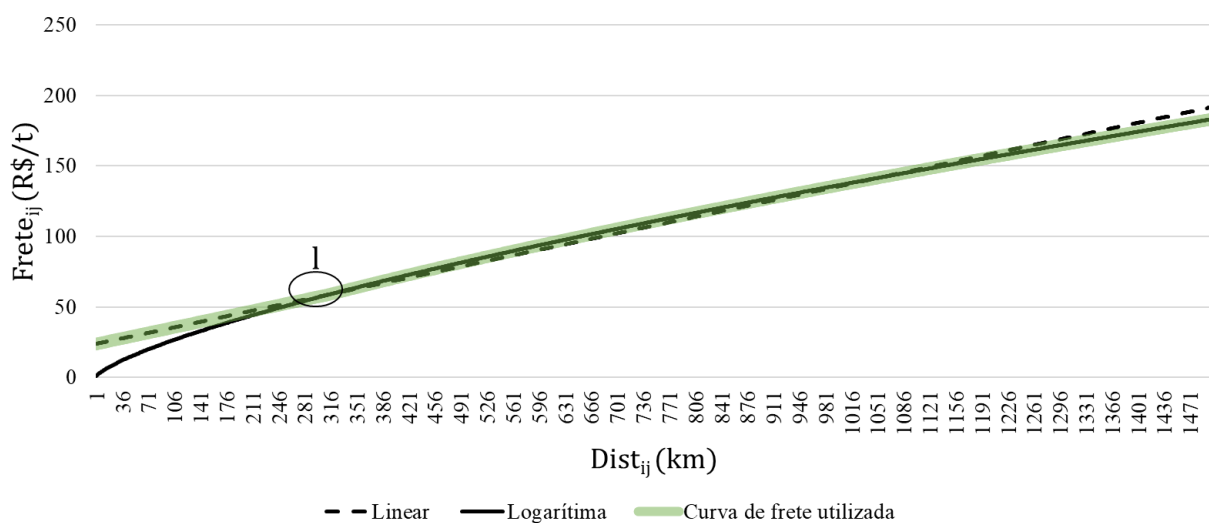
$$\ln(\text{Frete}_{ij}) = a + \ln(\text{dist}_{ij}) * b \quad (10)$$

$$\text{Frete}_{ij} = e^a * \text{dist}_{ij}^b \quad \forall \text{dist}_{ij} > l \quad (11)$$

$$\text{Frete}_{ij} = c + \text{dist}_{ij} * d \quad \forall \text{dist}_{ij} \leq l \quad (12)$$

O valor de l é definido pelo cruzamento de ambas as curvas, como é ilustrado na Figura 13, que representa a estimação das curvas logarítmica e linear para o corredor “Geral” (ID 1) no mês de janeiro de 2018. No corredor e mês descritos, l corresponde a 314 km e a curva escolhida está em amarelo, representando a combinação das estimativas linear e logarítmica.

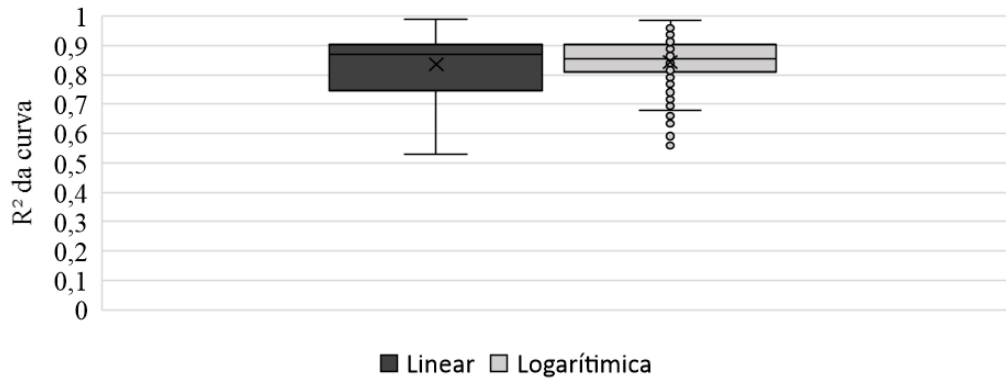
Figura 13 - Exemplificação da curva de frete utilizada no estudo



Fonte: Elaborado pelo autor com base em ESALQ-LOG (2020a)

O R^2 médio mensal das 38 curvas utilizadas é de 0,8365 para linear e 0,8442 para logarítmica, apresentando boa adequação com as informações da base de dados utilizada. A Figura 14 traz a distribuição dos ajustes em formato de *boxplot* para melhor visualização.

Figura 14 - Distribuição em *boxplot* dos ajustes R^2 das curvas mensais utilizadas



Fonte: Elaborado pelo autor com base em ESALQ-LOG (2020a)

Para a construção da matriz multimodal, considerou-se todas as soluções que se fizeram presentes na logística de escoamento de soja e milho em 2018 para terminais ferroviários (ANTT, 2020a) e hidroviários (ANTAQ, 2020), presentes na Figura 6.

O frete do percurso total (entre uma origem qualquer i e um destino qualquer d) dessas soluções é apresentado em (13), contabilizando a soma de todos os trajetos, de ponta (i a terminal de entrada e), trajeto multimodal (entre e e s) e conexão com o porto ou outro destino (de s a d). Nesse caso, há três curvas de fretes definidas como já apresentado na Tabela 2, sendo que o frete multimodal representa um desconto (com relação ao frete rodoviário correspondente para a mesma distância) de 30% para o trecho ferroviário e de 65% para o trecho hidroviário (Branco; Caixeta-Filho, 2011).

$$Frete_{i,d}^{multimodal} = Frete_{i,e}^{rodoviário} + Frete_{e,s}^{multimodal} + Frete_{s,d}^{rodoviário} \quad (13)$$

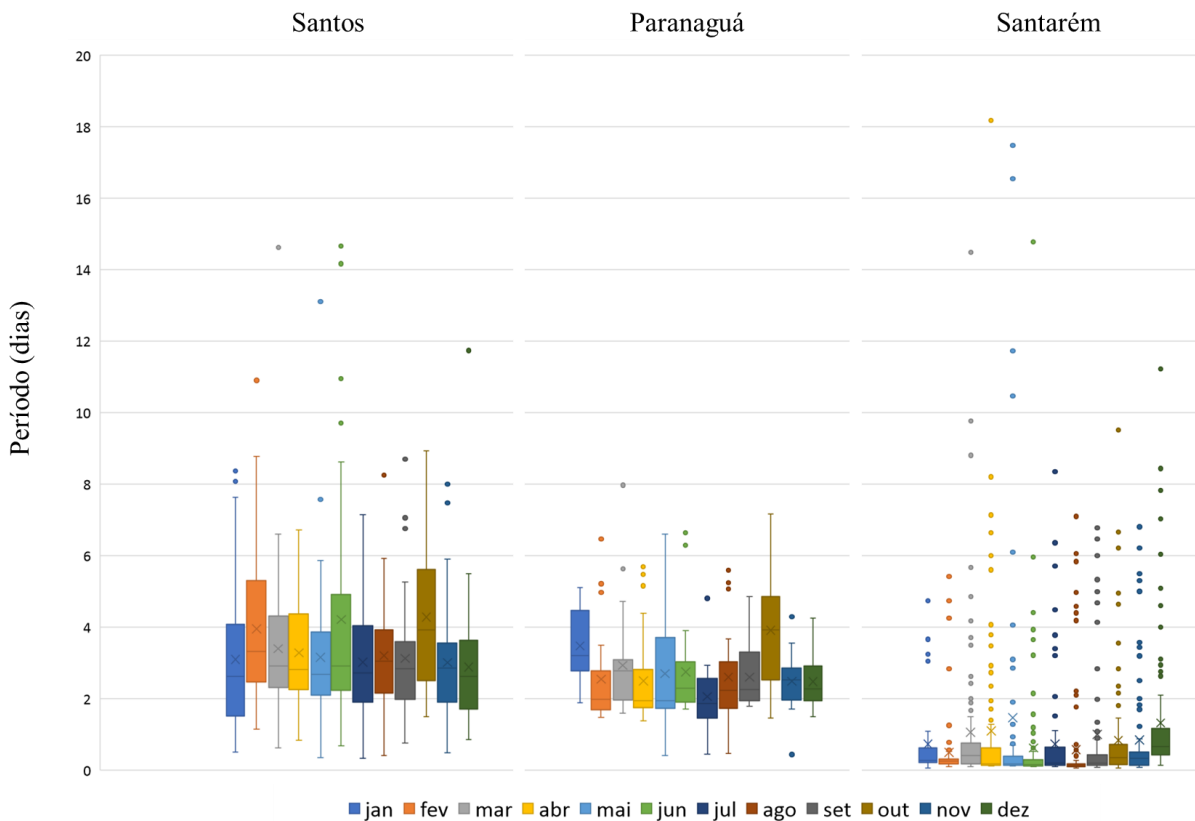
Como capacidade de operação dos terminais de entrada, considerou-se a soma do total embarcado nos terminais durante todo o ano de 2018 (ANTAQ, 2020; ANTT, 2020a).

Para obter as informações que compõem o parâmetro de custo portuário, utilizou-se o componente de sobre-estadia, ou *demurrage*, que é a multa cobrada pela retenção de um navio no porto por mais tempo do que o previsto, acrescido de um valor de custo fixo (γ) idêntico

para todos os portos, representando os custos de elevação e outros serviços portuários. Comumente o custo do *demurrage* é o que diferencia os portos quanto aos custos portuários, além de ser um indicador de produtividade.

Na Figura 15, é possível observar um comparativo entre três portos. Enquanto Santos e Paranaguá apresentam médias em torno de dois a quatro dias e grande proximidade entre as variações, o porto de Santarém apresenta grande variedade nos valores apresentados. Os elevados custos de sobre-estadia são reflexo da imprecisão nas operações portuárias, sendo que quanto maior o tempo em que o navio tem que permanecer em um porto, maior é o custo total dessa operação.

Figura 15 - Distribuição em *boxplot* do período entre atracamento e desatracamento de navios de Soja nos portos de Santos, Paranaguá e Santarém em 2018



Fonte: Elaborado pelo autor com base em ANTAQ (2020)

Através da utilização de valores médios do período em dias que os navios ficam atracados nos portos para cada mês para cada produto ponderado pelo volume do produto embarcado no navio em relação ao total embarcado no porto no mês ($DIAS_{k,p,m}^{ponderado}$), multiplicados por um custo de *demurrage* (ε_m), adicionado do custo fixo (γ_m).

O parâmetro de custo portuário foi composto, vide Equação (14), em que ambos ε_m e γ_m sofrem variações mensais dada a indexação cambial a que esses componentes estão sujeitos.

$$CPORTO_{k,p,m} = \gamma_m + \varepsilon_m * DIAS_{k,p,m}^{ponderado} \quad \forall k \in D, p \in P, m \in M \quad (14)$$

3.2 MÉTODO

3.2.1 Programação Linear (PL)

Programação linear (PL) ou *linear programming (LP)* é uma ferramenta para resolução de problemas de otimização que se enquadra na ótica de modelagem normativa, sendo um aprimoramento do método de *Gauss-Jordan* para “resolução de sistema de equações lineares via inversões sucessivas de matrizes” (CAIXETA-FILHO, 2015, p. 10). Em 1947, George Dantzig desenvolveu um método eficiente, denominado algoritmo *simplex*, que garante a solução de problemas de otimização no formato de programação linear (Dantzig, 1963). Inicialmente, este método foi desenvolvido através de esforços para operações militares realizados durante o período da Segunda Grande Guerra Mundial (Caixeta-Filho, 2015; Hillier; Lieberman, 2013).

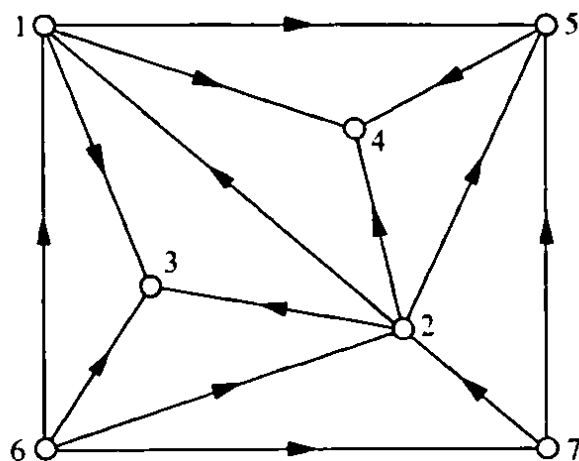
Em qualquer problema de PL, o tomador de decisão deseja maximizar ou minimizar uma função de variáveis de decisão, sujeita a uma série de restrições. Para manutenção do problema no campo linear, todas as expressões matemáticas (função objetivo e restrições) têm que ser escritas em formato linear. Dessa forma, quatro características devem ser observadas: (i) proporcionalidade, (ii) aditividade, (iii) divisibilidade e (iv) certeza (Winston, 2004). A primeira diz respeito à condição de proporcionalidade na contribuição de uma variável de decisão à função objetivo sendo mantida, independentemente da quantidade utilizada da variável de decisão. A segunda corresponde à condição de que, para a função objetivo, seu valor é a soma (ou subtração) das contribuições de variáveis individuais; para as restrições, representa a soma (ou subtração) das contribuições de cada variável no chamado “lado esquerdo da equação” ou *left-hand side (LHS)*, não havendo alteração na contribuição de uma variável por outra. A condição de divisibilidade requer que cada variável de decisão seja permitida a assumir valores fracionários e a condição de certeza é relacionada ao fato de que cada parâmetro é conhecido com certeza (Winston, 2004).

Um problema de otimização básico é normalmente escrito como em (15), em que A é uma matriz $m * n$, c é um vetor linha n -dimensional, b é um vetor coluna m -dimensional e x é um vetor coluna n -dimensional de variáveis desconhecidas (Wosley, 1998).

$$\max\{cx : Ax \leq b, x \geq 0\} \quad (15)$$

Os problemas de programação linear podem ser aplicados e tomar diversas formas, sendo os problemas de transbordo (*transshipment problems* ou *network flow problems*) os mais conhecidos por sua aplicabilidade e eficiência (Chvatal, 1983). O problema de transbordo consiste em encontrar a forma mais barata para transportar volumes de determinada *commodity* a partir de origens para destinos especificados através de uma rede de transporte concreta, como exemplificado na Figura 16, em que cada círculo (1, ... ,7) pode estar representando uma cidade e cada seta representa uma conexão (em uma direção) entre as cidades. Rigorosamente, uma rede (*network*) é um conjunto de elementos chamados nós (*nodes*) e um conjunto de elementos chamado arcos (*arcs*), com cada arco g sendo um par ordenado (i,j) de nós i e j distintos, sendo $g = (i,j)$.

Figura 16 - Exemplo de rede de transbordo



Fonte: CHVATAL (1983)

Para esse problema, também há uma série de condições a serem assumidas, sendo primordial que a oferta total seja igual à demanda total. Após isso, combinações factíveis de possibilidades entre os arcos são denominadas árvores (*trees*), que poderão ser resolvidas pelo algoritmo *simplex*. A formatação no modelo de transbordo evita combinações esdrúxulas, reduzindo o tempo de processamento envolvido no processo computacional para resolução dos cálculos lineares.

3.2.2 Programação Inteira Mista (MIP)

O modelo de programação inteira mista ou *MIP* (*Mixed Integer Programming*) é um modelo de programação linear com uma restrição adicional que algumas variáveis tenham valores

inteiros (mantendo a condição de divisibilidade para outras variáveis) (Hillier; Lieberman, 2013). A forma padrão ou simplificada é dada pela Equação (16) como função objetivo e as Equações (17) e (18) representam as restrições, sendo A uma matriz $m * n$, G uma matriz $m * p$, h um vetor linha com dimensão p e y um vetor coluna p -dimensional de variáveis inteiras (Wosley, 1998).

$$\max cx + hy \quad (16)$$

$$Ax + Gy \leq b \quad (17)$$

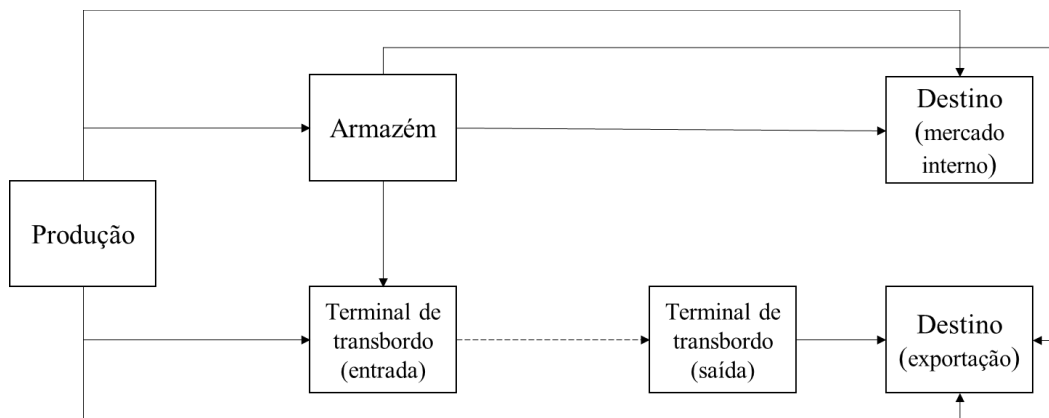
$$x \geq 0, y \geq 0 \text{ e inteiro} \quad (18)$$

A resolução desse modelo se popularizou com a proposta do algoritmo *Branch-and-Bound* (algoritmo de bifurcação e limite) e posteriormente com a adição da metodologia de planos de corte (*cutting plane algorithms*) (Wosley, 1998). Uma junção dos dois algoritmos é denominada de *Branch-and-cut*, sendo a mais utilizada em *softwares* comerciais de otimização inteira, inteira mista ou binária.

3.2.3 Modelo proposto

Dessa forma, a formulação a ser proposta para o modelo matemático segue um problema de otimização de redes (Chvatal, 1983; Dantzig et al., 1979). Essa rede pode ser desenhada e a representação desta é apresentada na Figura 17. A partir da produção até os destinos (interno ou externo), o caminho dos produtos analisados - soja e milho - pode divergir entre passagem por armazéns ou terminais de transbordo ou a movimentação direta.

Figura 17 - Rede considerada para o modelo de otimização



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a modelagem matemática realizada, foram considerados índices que representam conjuntos de informações (Tabela 3). O conjunto de Mesorregiões I , composto pelas 137 mesorregiões brasileiras de acordo com a divisão oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística é utilizada nos conjuntos de regiões armazenadoras (A) e regiões produtoras (O) ($I = A = O$), sendo divididos apenas para propósito do formato de construção do modelo matemático. Ademais, o conjunto D representa a união dos conjuntos R e K ($D = R \cup K$) e o conjunto S está contido em K ($S \subset K$).

Tabela 3 - Índices e conjuntos considerados para modelagem matemática

Índice	Descrição	Conjunto
i	Toda origem de fluxo (mesorregiões)	I
p	Produto (soja e milho)	P
k	Portos	K
q	Unidade Federativa (UF) – armazém	Q
r	Unidade Federativa (UF) - destino	R
d	Destino (portos e UFs)	D
a	Mesorregiões armazenadoras	A
o	Mesorregiões produtoras	O
e	Terminal de entrada (embarque multimodal)	E
s	Terminal de saída (desembarque multimodal)	S
m	Meses	M

Fonte: Elaborado pelo autor

Outras informações externas às variáveis do modelo, os parâmetros, são utilizadas. Os parâmetros considerados estão sumarizados na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros considerados para modelagem matemática

Parâmetro	Descrição	Fonte
$OFERTA$	oferta anual de cada produto p por mesorregião produtora o em 2018	(IBGE, 2019a)
	demanda total de p por cada porto k em cada mês m do ano de 2018	(ANTAQ, 2020)
$DEMANDA$	demanda total de p por UF e em cada mês m no ano de 2018	Vide Equações (7) e (8)
	demanda total de p por cada porto k no ano de 2018	(ANTAQ, 2020)
$DEMANDAT$	demanda total de p por UF e no ano de 2018	Vide Equações (7) e (8)

(continua)

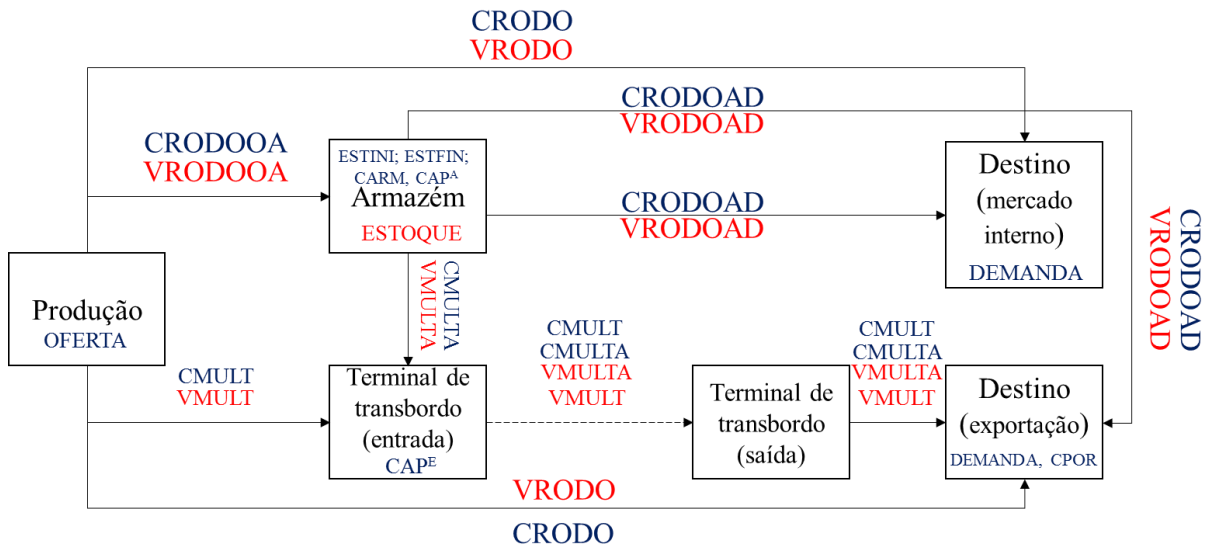
(conclusão)

Parâmetro	Descrição	Fonte
	embarque mensal máximo de p por cada porto k em 2018	(ANTAQ, 2020)
<i>DEMANDAMAX</i>	demanda mensal máxima de p por cada UF r no ano de 2018	Vide Equações (7) e (8)
<i>ESTINI</i>	estoque inicial de p por mesorregião i em 2018	(CONAB, 2018)
<i>ESTFIN</i>	estoque final de p por mesorregião i em 2018	(CONAB, 2019b)
<i>CRODO</i>	frete rodoviário da mesorregião produtora o para destino d	(ESALQ-LOG, 2020a)
<i>CRODOOA</i>	Frete rodoviário da mesorregião produtora o para mesorregião armazenadora a	(ESALQ-LOG, 2020a)
<i>CRODOAD</i>	Frete rodoviário da mesorregião armazenadora a para destino d	(ESALQ-LOG, 2020a)
<i>CMULT</i>	frete multimodal da mesorregião produtora o para destino d , passando pelos terminais de entrada e e saída s	(BRANCO; CAIXETA-FILHO, 2011; ESALQ-LOG, 2020a)
<i>CMULTA</i>	frete multimodal da mesorregião armazenadora a para destino d , passando pelos terminais de entrada e e saída s	(BRANCO; CAIXETA-FILHO, 2011; ESALQ-LOG, 2020a)
<i>CAPE</i>	capacidade operacional dos terminais de transbordo e	(ANTAQ, 2020; ANTT, 2020a)
<i>CAPEM</i>	capacidade máxima mensal operacional dos terminais de transbordo e	(ANTAQ, 2020; ANTT, 2020a)
<i>CAPA</i>	capacidade estática das mesorregiões a	(IBGE, 2019b)
<i>CARM</i>	Custo de armazenagem das mesorregiões a	(ESALQ-LOG, 2020b)
<i>CPORTO</i>	Custo portuário para o porto k no mês m	(ANTAQ, 2020)

Fonte: Elaborado pelo autor

Dessa forma, a Figura 18 traz a rede apresentada na Figura 17 com a adição das variáveis de decisão (em vermelho) e parâmetros (azul) utilizados como forma de ilustrar a disposição desses itens na representação considerada.

Figura 18 - Rede considerada para o modelo de otimização com variáveis de decisão e parâmetros ilustrados



Fonte: Elaborado pelo autor

Como apresentado anteriormente, a condição de rede só é satisfeita quando a oferta total é igual a demanda total. Para isso, considerou-se como oferta total a produção de 2018 acrescida do estoque remanescente da safra anterior (2017/18) e como demanda total, a demanda dos portos acrescida da demanda das regiões consumidoras adicionada ao estoque de passagem para a safra 2018/19 (Tabela 5).

Tabela 5 - Equilíbrio entre oferta total e demanda total (toneladas)

Descrição	Total	Soja	Milho
Oferta (regiões produtoras)	200.176.037	117.887.738	82.288.299
Estoque inicial	21.816.316	4.569.916	17.246.400
Oferta total	221.992.353	122.457.654	99.534.699
Demanda (portos e consumo)	207.712.746	122.028.948	85.683.798
Estoque final	14.279.607	428.706	13.850.901
Demanda total	221.992.353	122.457.654	99.534.699

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ANTAQ (2020), CONAB (2018, 2019b) e IBGE (2019a)

Por fim, as seis variáveis de decisão introduzidas na Figura 18 estão listadas na Tabela 6. A definição dos níveis das variáveis de decisão é intrínseca ao modelo proposto, representando as informações de volume que foram alocadas através da execução do modelo de otimização matemática.

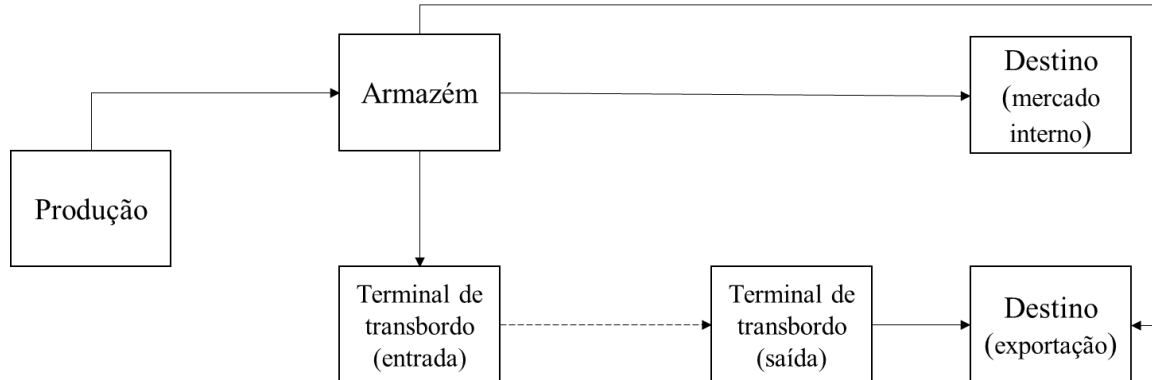
Tabela 6 - Variáveis de decisão consideradas para modelagem matemática

Variável de decisão	Descrição	Desagregação por conjuntos
<i>VRODO</i>	Volume movimentado via rodovia entre <i>o</i> e <i>d</i>	<i>O,D,P,M</i>
<i>VMULT</i>	Volume movimentado via multimodal entre <i>o</i> e <i>d</i> através de <i>e</i> e <i>s</i>	<i>O,E,D,P,M</i>
<i>VRODOOA</i>	Volume movimentado via rodovia entre <i>o</i> e <i>a</i>	<i>O,A,P,M</i>
<i>VRODOAD</i>	Volume movimentado via rodovia entre <i>a</i> e <i>d</i>	<i>A,D,P,M</i>
<i>VMULTA</i>	Volume movimentado via multimodal entre <i>a</i> e <i>d</i> através de <i>e</i> e <i>s</i>	<i>A,E,D,P,M</i>
<i>ESTOQUE</i>	Estoque em <i>a</i>	<i>A,P,M</i>
<i>VESTINI</i>	Estoque inicial em <i>a</i> para o produto <i>p</i>	<i>A,P</i>
<i>VESTFIN</i>	Estoque final em <i>a</i> para o produto <i>p</i>	<i>A,P</i>
<i>Y</i>	Alocação de armazéns em <i>a</i>	<i>A</i>

Fonte: Elaborado pelo autor

Outra possibilidade considerada com relação a rede de transporte é a obrigatoriedade da passagem por um armazém localizado fora da propriedade rural de produção, exigindo assim uma operação de transporte entre as regiões *O* e *A*. Assim, a rede apresentada na Figura 17 seria alterada pela rede exemplificada na Figura 19, sem a conexão entre produção e destino.

Figura 19 - Rede considerada para o modelo de otimização com obrigatoriedade na passagem por uma unidade armazenadora (AO)



Fonte: Elaborado pelo autor

Essa obrigatoriedade remete a necessidade da realização de processos de limpeza e secagem nos grãos para que esses sejam preparados para comercialização e posteriormente transportados com direção ao destino, entretanto, tal operação não foi exigida em todos os cenários que serão apresentados pela possibilidade da realização das operações dentro da localidade produtora caso o detentor da produção disponha dos equipamentos necessários.

Três grandes conjuntos de cenários de otimização foram criados, variando a liberdade na adoção de restrições, sendo que cada cenário pode ter variações quanto a liberdades ou

suposições adotadas. Os cenários de “reprodução” (R), buscam representar da melhor forma a condição observada em 2018 para a movimentação de soja e milho no Brasil de acordo com parâmetros das bases descritas para ser utilizado como forma de comparação com outros cenários, sendo construído em formato de programação linear (LP); outro conjunto de cenários de otimização, com condições menos restritas, denominado “aberto” (A), foi escrito à luz da programação inteira mista (MIP) e busca aumentar o grau de liberdade das variáveis de decisão além de definir as melhores localidades para construção de unidades armazenadoras. O terceiro conjunto de cenários, denominado “livre” (L) é aquele que através da extrapolação da realidade atual busca elucidar as melhores possibilidades de escoamento dos grãos estudados com menores restrições quanto a demanda dos portos, capacidade operacional dos terminais e capacidade estática das regiões armazenadoras, sendo também escrito em formato MIP, incorporando a alocação ótima de *facilities* armazenadoras.

3.2.4 Cenário de reprodução

Para o cenário de reprodução, quatro possibilidades de custos logísticos principais serão consideradas: (*RT*) apenas custo de transporte; (*RTA*) custos de transporte acrescidos de custo de armazenagem; (*RTP*) custo de transporte acrescido de custos portuários; (*RTAP*) todos os custos de transporte, armazenagem e portuários.

As restrições são apresentadas nas Equações (19) a (26). A restrição (19) diz respeito à demanda a ser atendida, igualando a demanda dos destinos D ao volume real movimentado por mês em 2018 (ANTAQ, 2020). A descrição dos parâmetros e das variáveis de decisão é dada na Tabela 4 e Tabela 6.

$$\sum_{o \in O} VRODO_{o,d,p,m} + \sum_{o \in O} \sum_{e \in E} VMULT_{o,e,d,p,m} + \sum_{a \in A} VRODOAD_{a,d,p,m} + \sum_{a \in A} \sum_{e \in E} VMULTA_{a,e,d,p,m} = DEMANDA_{d,p,m} \quad \forall d \in D, p \in P, m \in M \quad (19)$$

A Equação (20) iguala o volume movimentado a partir de qualquer origem o à oferta mensal de cada produto p originada na mesorregião o ao volume observado em 2018 (IBGE, 2019a).

$$\sum_{d \in D} VRODO_{o,d,p,m} + \sum_{d \in D} \sum_{e \in E} VMULT_{o,e,d,p,m} + \sum_{a \in A} VRODOOA_{o,a,p,m} = OFERTA_{o,p,m} \quad \forall o \in O, p \in P, m \in M \quad (20)$$

As Equações (21) a (23) correspondem ao equilíbrio de estoques, sendo a primeira referente ao mês de início (janeiro), em que o estoque desse mês representa o estoque de passagem ($ESTINI_{a,p}$) acrescido do remanescente entre o volume ofertado e demandado para cada mesorregião armazenadora a e produto p . A Equação (22) é referente aos 11 meses posteriores, que representam o equilíbrio entre o volume previamente estocado ($ESTOQUE_{a,p,m-1}$) com o remanescente do volume ofertado e demandado para a e p . A Equação (23) força a igualdade entre o volume de estoque em dezembro e o volume registrado de estoque de passagem da safra 2018/19 (CONAB, 2019b).

$$ESTOQUE_{a,p,m} = ESTINI_{a,p} + \sum_{o \in O} VRODOOA_{o,a,p,m} - \sum_{d \in D} VRODOAD_{a,d,p,m} - \sum_{e \in E} \sum_{d \in D} VMULTA_{a,e,d,p,m} \forall a \in A, p \in P, m = 1 \quad (21)$$

$$ESTOQUE_{a,p,m} = ESTOQUE_{a,p,m-1} + \sum_{o \in O} VRODOOA_{o,a,p,m} - \sum_{d \in D} VRODOAD_{a,d,p,m} - \sum_{e \in E} \sum_{d \in D} VMULTA_{a,e,d,p,m} \forall a \in A, p \in P, m > 1 \quad (22)$$

$$ESTOQUE_{a,p,m} = ESTFIN_{a,p} \forall a \in A, p \in P, m = 12 \quad (23)$$

As Equações (24) e (25) garantem o fluxo factível de movimentação em cada um dos 12 meses de análise.

$$\sum_{d \in D} VRODOAD_{a,d,p,m} + \sum_{e \in E} \sum_{d \in D} VMULTA_{a,e,d,p,m} \leq \sum_{o \in O} VRODOOA_{o,a,p,m} + ESTINI_{a,p} \forall a \in A, p \in P, m = 1 \quad (24)$$

$$\sum_{d \in D} VRODOAD_{a,d,p,m} + \sum_{e \in E} \sum_{d \in D} VMULTA_{a,e,d,p,m} \leq \sum_{o \in O} VRODOOA_{o,a,p,m} + ESTOQUE_{a,p,m-1} \forall a \in A, p \in P, m > 1 \quad (25)$$

A Equação (26) restringe o volume embarcado nos terminais de transbordo à capacidade anual destes ($CAPE_e$) e a Equação (27) define o máximo mensal a ser embarcado com base no volume máximo embarcado em um único mês para soja e milho em cada terminal ($CAPEM_e$).

$$\sum_{o \in O} \sum_{d \in D} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VMULT_{o,e,d,p,m} + \sum_{a \in A} \sum_{d \in D} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VMULTA_{a,e,d,p,m} \leq CAPE_e \forall e \in E \quad (26)$$

$$\sum_{o \in O} \sum_{d \in D} \sum_{p \in P} VMULT_{o,e,d,p,m} + \sum_{a \in A} \sum_{d \in D} \sum_{p \in P} VMULTA_{a,e,d,p,m} \leq CAPEM_e \quad \forall e \in E, m \in M \quad (27)$$

A equação (28) exclui o fluxo rodoviário para o porto de Vitória, como forma de se adequar à condição predominante de mercado em que esse porto só recebe as cargas de soja e milho através do modal ferroviário, com embarque possível nos municípios de Araguari, Santa Luzia, Pirapora e Uberaba, todos no estado de Minas Gerais.

$$\sum_{o \in O} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VRODO_{o,d,p,m} + \sum_{a \in A} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VRODOAD_{a,d,p,m} = 0 \quad \forall d = \text{Vitória (ES)} \quad (28)$$

A Equação (29) limita a capacidade das regiões armazenadoras e, como descrito, a Equação (30) representa o Domínio das variáveis.

$$\sum_{p \in P} Estoque_{a,p,m} \leq CAPA_a \quad \forall a \in A, m \in M \quad (29)$$

$$VRODO_{o,d,p,m}, VMULT_{o,e,d,p,m}, VRODOOA_{o,a,p,m}, VRODOAD_{a,d,p,m}, \\ VMULTA_{a,e,d,p,m}, ESTOQUE_{a,p,m} \in R_+^{oaedpm} \quad (30)$$

No presente caso, a modelagem do problema inicial de otimização do primeiro cenário de reprodução (RT) com objetivo de minimização dos custos de transporte (Z^{RT}) tem como função objetivo a Equação (31) que é a soma de todas as possibilidades de transporte consideradas.

$$Z^{RT} = Transporte^{rodo} + Transporte^{mult} + Transporte^{rodooa} + \\ Transporte^{rodoad} + Transporte^{multa} \quad (31)$$

As possibilidades de transporte consideradas pelas variáveis de decisão são atreladas aos custos relativos a essas, sendo $Transporte^{rodo}$ o transporte rodoviário entre região produtora e destino (32), $Transporte^{mult}$ o transporte com uso de multimodalidade entre região produtora e destino (33), $Transporte^{rodooa}$ o transporte rodoviário entre região produtora e armazém (34), $Transporte^{rodoad}$ entre armazém e destino (35) e, por fim, $Transporte^{multa}$ o transporte multimodal entre armazém e destino (36).

$$Transporte^{rodo} = \sum_{o \in O} \sum_{o \in D} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VRODO_{o,d,p,m} * CRODO_{o,d,m} \quad (32)$$

$$Transporte^{mult} = \sum_{o \in O} \sum_{e \in E} \sum_{d \in D} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VMULT_{o,e,d,p,m} * CMULT_{o,e,d,m} \quad (33)$$

$$Transporte^{rodooa} = \sum_{o \in O} \sum_{a \in A} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VRODOOA_{o,a,p,m} * CRODOOA_{o,a,m} \quad (34)$$

$$Transporte^{rodoad} = \sum_{a \in A} \sum_{d \in D} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VRODOAD_{a,d,p,m} * CRODOAD_{a,d,m} \quad (35)$$

$$Transporte^{multa} = \sum_{a \in A} \sum_{e \in E} \sum_{d \in D} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VMULTA_{a,e,d,p,m} * CMULTA_{a,e,d,m} \quad (36)$$

No segundo cenário de reprodução (*RTA*), com incidência de custo de armazenagem, foram adicionados componentes fixo e variável e tem-se que o custo de armazenagem é formado como descrito na Equação (37), sendo um parâmetro de custo fixo δ que incide em toda movimentação com origem nas regiões produtoras aos armazéns no momento da entrada nas unidades armazenadoras ($VRODOOA_{o,a,p,m}$), acrescido de um componente variável que representa o volume em estoque no mês ($ESTOQUE_{a,p,m}$), multiplicado por um parâmetro de custo variável (θ).

$$CARM_{a,p,m} = \delta * \sum_{o \in O} VRODOOA_{o,a,p,m} + \theta * ESTOQUE_{a,p,m} \quad (37)$$

sendo $Armazenagem_{a,p,m}^{total}$ o somatório dos custos de armazenagem para todos os armazéns, produtos e meses considerados, vide Equação (38).

$$Armazenagem^{total} = \sum_{a \in A} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} CARM_{a,p,m} \quad (38)$$

Com a nova variável adicionada aos cálculos, a função objetivo do modelo de otimização é alterada, sendo a Equação (31) substituída pela Equação (39), com minimização de Z^{RTA} . As demais restrições não sofrem alteração para esse cenário.

$$Z^{RTA} = Transporte^{rodo} + Transporte^{mult} + Transporte^{rodooa} + Transporte^{rodoad} + Transporte^{multa} + Armazenagem^{total} \quad (39)$$

Para o cenário *RTP* (Reprodução com custos de transporte e portuários), com a adição de custos portuários ao cenário *RT* (Reprodução com custos de transporte), também ocorre

alteração na função objetivo do problema de minimização, sendo substituída pela equação (40),

$$Z^{RTP} = Transporte^{rodo} + Transporte^{mult} + Transporte^{rodooa} + \\ Transporte^{rodoad} + Transporte^{multa} + Portuário^{total} \quad (40)$$

na qual a variável $VPORTo_{d,p,m}$ é a somatória de toda movimentação com direção ao porto k , via transporte estritamente rodoviário ou através de multimodalidade, vide Equação (41) e $Portuário_{d,p,m}^{total}$ é o somatório de todas as movimentações da variável multiplicadas pelo custo atrelado a cada uma (42). Mais uma vez, as restrições não são alteradas.

$$VPORTo_{d,p,m} = \sum_{o \in O} VRODO_{o,d,p,m} + \sum_{o \in O} \sum_{e \in E} VMULT_{o,e,d,p,m} + \sum_{a \in A} VRODOAD_{a,d,p,m} \quad (41) \\ + \sum_{a \in A} \sum_{e \in E} VMULTA_{a,e,d,p,m} \quad \forall d \in K$$

$$Portuário^{total} = \sum_{d \in K} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VPORTo_{d,p,m} * CPORTo_{d,p,m} \quad (42)$$

Por fim, o cenário *RTAP* (Reprodução com custos de transporte, armazenagem e portuários) tem como função objetivo a Equação (43), com a incorporação de todos os custos logísticos, não havendo alteração nas restrições apresentadas nas Equações (19) a (30).

$$Z^{RTAP} = Transporte^{rodo} + Transporte^{mult} + Transporte^{rodooa} + \\ Transporte^{rodoad} + Transporte^{multa} + Armazenagem^{total} + Portuário^{total} \quad (43)$$

Todos os cenários de reprodução apresentados até o momento seguem a rede ilustrada na Figura 17, havendo possibilidade da movimentação direta das regiões produtoras para os destinos. O cenário *RTAP-AO* (Reprodução com custos de transporte, armazenagem e portuários com passagem nos armazéns obrigatória) se baseia na necessidade de passagem em uma localidade armazenadora para realização das atividades de seleção, limpeza e secagem dos grãos antes da movimentação destes para o devido destino.

Para esse cenário, as equações (21), (22), (23), (24), (25) e (29) são mantidas como restrições. As alterações remetem a exclusão das variáveis de decisão responsáveis pela conexão das regiões produtoras aos destinos, por via rodoviária ou multimodal (*VRODO* e *VMULT*) e são listadas no texto.

A Equação (19) é substituída pela Equação (44), representando a demanda mensal. E a oferta é dada pela Equação (45), que substitui a Equação (20).

$$\sum_{a \in A} VRODOAD_{a,d,p,m} + \sum_{a \in A} \sum_{e \in E} VMULTA_{a,e,d,p,m} = DEMANDA_{d,p,m} \quad \forall d \in D, p \in P, m \in M \quad (44)$$

$$\sum_{a \in A} VRODOOA_{o,a,p,m} = OFERTA_{o,p,m} \quad \forall o \in O, p \in P, m \in M \quad (45)$$

As Equações (26) e (27) referentes à capacidade operacional anual e mensal dos terminais de entrada, são substituídas pelas Equações (46) e (47), respectivamente. E a Equação (28) é substituída pela Equação (48).

$$\sum_{a \in a} \sum_{d \in D} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VMULTA_{a,e,d,p,m} \leq CAPE_e \quad \forall e \in E \quad (46)$$

$$\sum_{a \in a} \sum_{d \in D} \sum_{p \in P} VMULTA_{a,e,d,p,m} \leq CAPEM_e \quad \forall e \in E, m \in M \quad (47)$$

$$\sum_{a \in a} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VRODOAD_{a,d,p,m} = 0 \quad \forall d = \text{Vitória (ES)} \quad (48)$$

Com a exclusão de variáveis de decisão, também há alteração na Equação que representa o domínio das variáveis, dessa forma a Equação (49) substitui a Equação (30).

$$VRODOOA_{o,a,p,m}, VRODOAD_{a,d,p,m}, VMULTA_{a,e,d,p,m}, ESTOQUE_{a,p,m} \in R_+^{oadpm} \quad (49)$$

A função objetivo do cenário RTAP-AO é dada por $Z^{RTAP-AO}$, como apresentada na Equação (50) com os componentes de transporte relacionados a movimentação de entrada e saída nas regiões armazenadoras, armazenagem e portuário.

$$Z^{RTAP-AO} = Transporte^{rodooa} + Transporte^{rodoad} + Transporte^{multa} + \quad (50)$$

$$Armazenagem^{total} + Portuário^{total}$$

3.2.5 Cenário aberto

Nesse conjunto de cenários, as equações (20), (22), (25) (26) e (28) são mantidas como restrições.

A Equação (19) é substituída pelas equações (51) e (52), representando maior liberdade para a alocação de fluxos de demanda em cada mês, sendo ainda necessário respeitar o volume total de cada produto p movimentado para cada destino D ao longo do ano ($DEMANDAT_{d,p}$) (como

descrito na Equação (51), sendo que o volume mensal máximo movimentado respeita o volume máximo movimentado em um mês durante o ano de 2018 ($DEMANDAMAX_{d,p}$), vide Equação (52).

$$\sum_{o \in O} \sum_{m \in M} VRODO_{o,d,p,m} + \sum_{o \in O} \sum_{e \in E} \sum_{m \in M} VMULT_{o,e,d,p,m} + \sum_{a \in A} \sum_{m \in M} VRODOAD_{a,d,p,m} + \quad (51)$$

$$\sum_{a \in A} \sum_{e \in E} \sum_{m \in M} VMULTA_{a,e,d,p,m} = DEMANDAT_{d,p} \quad \forall d \in D, p \in P$$

$$\sum_{o \in O} VRODO_{o,d,p,m} + \sum_{o \in O} \sum_{e \in E} VMULT_{o,e,d,p,m} + \sum_{a \in A} VRODOAD_{a,d,p,m} + \quad (52)$$

$$\sum_{a \in A} \sum_{e \in E} VMULTA_{a,e,d,p,m} \leq DEMANDAMAX_{d,p} \quad \forall d \in D, p \in P$$

Como forma de dar maior liberdade para alocação endógena das melhores localidades de armazenagem, foi realizada uma transformação dos parâmetros totais de estoque inicial ($ESTINI_{total}$) e estoque final ($ESTFIN_{total}$) em variáveis de decisão $VESTINI_a$ e $VESTFIN_a$, de modo que as Equações (53) e (54) apresentam a relação entre os parâmetros e as variáveis de decisão criadas, para o estoque inicial e estoque final, respectivamente.

$$ESTINI_{total}^p = \sum_{a \in A} VESTINI_{a,p} \quad (53)$$

$$ESTFIN_{total}^p = \sum_{a \in A} VESTFIN_{a,p} \quad (54)$$

Dessa forma, com a adição dessas restrições ao modelo proposto para o cenário *ATAP*, a desagregação em mesorregiões armazenadoras a é realizada internamente na resolução do modelo proposto. Assim posto, as equações (21) e (23) são substituídas por equações semelhantes (55) e (56), sendo que a única alteração ocorre na substituição dos parâmetros de estoque inicial e estoque final pelas variáveis de decisão ($VESTINI_{a,p}$ e $VESTFIN_{a,p}$).

$$ESTOQUE_{a,p,m} = VESTINI_{a,p} + \sum_{o \in O} VRODOOA_{o,a,p,m} - \sum_{d \in D} VRODOAD_{a,d,p,m} - \sum_{e \in E} \sum_{d \in D} VMULTA_{a,e,d,p,m} \quad \forall a \quad (55)$$

$$\in A, p \in P, m = 1$$

$$ESTOQUE_{a,p,m} = VESTFIN_{a,p} \forall a \in A, p \in P, m = 12 \quad (56)$$

O mesmo ocorre com a equação (24), que é substituída pela equação (57) dada a alteração do parâmetro de estoque inicial para variável de decisão $VESTINI_{a,p}$, mantendo a lógica de fluxo descrita anteriormente.

$$\sum_{d \in D} VRODOAD_{a,d,p,m} + \sum_{e \in E} \sum_{d \in D} VMULTA_{a,e,d,p,m} \leq \sum_{o \in O} VRODOOA_{o,a,p,m} + VESTINI_{a,p} \forall a \in A, p \in P, m = 1 \quad (57)$$

A razão da alteração dos parâmetros de estoque inicial e final foi a maior liberdade dada à alocação de armazenagem com redução na condição de necessidade da existência de armazéns em todas as mesorregiões com capacidade de armazenagem. Com a adição da variável binária que corresponde à alocação ou não de armazém em uma mesorregião, - Equação (58) - haverá a determinação da condição de otimalidade do número de mesorregiões armazenadoras.

$$Y_a = \begin{cases} 1 & \text{se há armazém de grãos na mesorregião armazenadora } a \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (58)$$

Dessa forma, a equação (29) é substituída pela Equação (59), em que as capacidades são determinadas pelo parâmetro $CAPA_a$ multiplicando a variável binária de alocação Y_a . A equação que representa o domínio das variáveis dos cenários de reprodução (30) é substituída pela equação (60), que incorpora a variável binária.

$$\sum_{p \in P} Estoque_{a,p,m} \leq CAPA_a * Y_a \forall a \in A, m \in M \quad (59)$$

$$VRODO_{o,d,p,m}, VMULT_{o,e,d,p,m}, VRODOOA_{o,a,p,m}, VRODOAD_{a,d,p,m}, VMULTA_{a,e,d,p,m}, ESTOQUE_{a,p,m} \in R_+^{oaedpm}, \quad (60)$$

$$Y_a \in B^a$$

Assim, a função objetivo do cenário *ATAP* é dada na Equação (61), sendo π o custo de implementação de um armazém, que foi considerado nulo.

$$\begin{aligned}
Z^{ATAP} = & Transporte^{rodo} + Transporte^{mult} + Transporte^{rodooa} + Transporte^{rodoad} \\
& + Transporte^{multa} + Armazenagem^{total} + Portuário^{total} + \pi \sum_{a \in A} Y_a
\end{aligned} \quad (61)$$

Da mesma forma que o cenário *RTAP-AO*, uma variante do cenário “aberto” foi criada para entender o impacto da necessidade de passagem obrigatória por armazéns ao eliminar os fluxos de movimentação direta a partir das regiões produtoras (*VRODO* e *VMULT*); o nome dado a este cenário é *ATAP-AO*.

As restrições de demanda nesse cenário seguem a mesma lógica vista nas Equações (51) e (52), porém não há a inclusão das variáveis de decisão de movimentação direta, sendo representadas pelas Equações (62) e (63). A oferta é dada da mesma forma que apresentada no cenário *RTAP-AO*, sendo definida na Equação (45).

$$\sum_{a \in A} \sum_{m \in M} VRODOAD_{a,d,p,m} + \sum_{a \in A} \sum_{e \in E} \sum_{m \in M} VMULTA_{a,e,d,p,m} = DEMANDAT_{d,p} \quad \forall d \in D, p \in P \quad (62)$$

$$\sum_{a \in A} VRODOAD_{a,d,p,m} + \sum_{a \in A} \sum_{e \in E} VMULTA_{a,e,d,p,m} \leq DEMANDAMAX_{d,p} \quad \forall d \in D, p \in P \quad (63)$$

Outras equações já apresentadas são aproveitadas na construção do modelo matemático deste cenário: as equações que transformam o parâmetro de estoques de passagem em variáveis de decisão (53) e (54); as equações de equilíbrio de estoque (55), (22) e (56); as equações que garantem o fluxo factível nas unidades armazenadoras (57) e (25); a equação de capacidade operacional dos terminais de transbordo (46); a equação de exclusividade da utilização de ferrovias para o envio até o porto de Vitória (ES) (48); a equação de capacidade das regiões armazenadoras (59) e a equação de oferta considerando apenas a possibilidade de movimentação para as regiões armazenadoras (45).

O domínio das variáveis do cenário *ATAP-AO* é apresentado na Equação (64) e a função objetivo do cenário *ATAP-AO* é dada por $Z^{ATAP-AO}$ na Equação (65).

$$VRODOOA_{o,a,p,m}, VRODOAD_{a,d,p,m}, VMULTA_{a,e,d,p,m}, ESTOQUE_{a,p,m} \in R_+^{oaedpm}, \quad (64)$$

$$Y_a \in B^a$$

$$Z^{ATAP-AO} = Transporte^{rodooa} + Transporte^{rodoad} + Transporte^{multa} + \quad (65)$$

$$Armazenagem^{total} + Portuário^{total} + \pi \sum_{a \in A} Y_a$$

3.2.6 Cenário livre

Outro conjunto de cenários criado busca deliberar a alocação das principais variáveis de decisão construídas de forma endógena ao modelo através de maiores liberdades nas restrições. Assim, quatro cenários foram construídos: (i) *LTAP* (cenário com demanda, capacidade operacional dos terminais e capacidade estática de armazenagem livres) com todos os custos de transporte, armazenagem e portuários); (ii) *LTAP-D* (cenário com demanda livre e todos os custos logísticos); (iii) *LTAP-E* (cenário com capacidade operacional dos terminais de transbordo de entrada ilimitada e todos os custos logísticos); e (iv) *LTAP-A* (cenário com capacidade estática ilimitada e todos os custos logísticos).

Os quatro cenários de liberdade são construídos no formato do cenário *ATAP* com a adição da(s) liberdade(s) particulares de cada um. Em todos os quatro cenários correspondentes ao conjunto de cenários livres: *LTAP*, *LTAP-D*, *LTAP-E* e *LTAP-A*, são mantidas como restrições iniciais as Equações (53) e (54) para transformação dos parâmetros de estoque de passagem em variáveis de decisão, as Equações (55), (22) e (56) como equilíbrio de estoque, as Equações (57) e (25) que garantem o fluxo factível nas regiões armazenadoras, a Equação (28) correspondente a exclusão da possibilidade do envio rodoviário para o porto de Vitória (ES) e a Equação (20) que remete a oferta mensal. O domínio das variáveis em todos os cenários do conjunto livre foi apresentado na Equação (60).

Em todos esses cenários, as alterações ocorrem nas equações que remetem a demanda, a capacidade operacional dos terminais de transbordo de entrada e a capacidade estática de armazenagem.

Em *LTAP* a alocação da movimentação é livre quanto aos destinos, sendo que a decisão a respeito de qual porto ou destino nacional é endógena, bem como o mês em que a operação é dada. A demanda é limitada apenas pela condição de que a soma do volume movimentado

com destino aos portos k tem que ser igual ao volume total exportado de soja e milho no ano considerado e da mesma forma, o volume que permaneceu no mercado interno de ambos os produtos, movimentados aos destinos r , tem que ser igual ao volume observado em 2018. A condição de exportação é dada na Equação (66) e para o mercado interno na Equação (67).

$$\begin{aligned} & \sum_{o \in O} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VRODO_{o,d,p,m} + \sum_{o \in O} \sum_{e \in E} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VMULT_{o,e,d,p,m} \\ & + \sum_{a \in A} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VRODOAD_{a,d,p,m} + \sum_{a \in A} \sum_{e \in E} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VMULTA_{a,e,d,p,m} \\ & = \sum_{d \in K} DEMANDAT_{d,p} \quad \forall d \in K \end{aligned} \quad (66)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{o \in O} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VRODO_{o,d,p,m} + \sum_{o \in O} \sum_{e \in E} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VMULT_{o,e,d,p,m} \\ & + \sum_{a \in A} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VRODOAD_{a,d,p,m} + \sum_{a \in A} \sum_{e \in E} \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} VMULTA_{a,e,d,p,m} \\ & = \sum_{d \in R} DEMANDAT_{d,p} \quad \forall d \in R \end{aligned} \quad (67)$$

Para a movimentação multimodal sem limite de capacidade operacional, a alteração existente é a eliminação das restrições correspondentes a capacidade máxima operacional por ano e por mês, havendo assim desuso dos parâmetros $CAPE_e$ e $CAPEM_e$.

Para eliminar a limitação e manter a opção de alocação de armazéns nas localidades possíveis através da variável binária Y_a , foi preciso retirar o parâmetro de capacidade de armazenagem $CAPA_a$ e substituí-lo por um parâmetro que não comprometa a alocação, dessa forma φ representa um volume muito alto, superior ao total demandado dos produtos considerados no ano, de forma a não interferir na alocação máxima dos armazéns, vide Equação (68).

$$\sum_{p \in P} Estoque_{a,p,m} \leq \varphi * Y_a \quad \forall a \in A, m \in M \quad (68)$$

Assim, em *LTAP*, as três liberdades são consideradas (demanda, capacidade operacional dos terminais de transbordo de entrada e capacidade estática de armazenagem), sendo que as restrições adicionais as restrições iniciais descritas no início desta seção são as Equações (66), (67) e (68).

Os outros cenários livres simulam apenas uma grandeza irrestrita e mantêm as considerações a respeito das outras grandezas como apresentado no cenário *ATAP*, sendo *LTAP-D* com a demanda livre a as capacidades operacionais dos terminais de entrada e estáticas de armazenagem limitadas, *LTAP-E* com liberdade apenas na capacidade de operação dos terminais de transbordo e *LTAP-A* com liberdade na capacidade estática dos armazéns graneleiros. A opção pela criação desses cenários foi a possibilidade de comparação com os cenários mais limitados como forma de identificar os gargalos e principais possibilidades de melhorias em termos de custos logísticos e infraestrutura.

Dessa forma, as restrições adicionais em *LTAP-D* são as Equações (66) e (67) representando a demanda livre, a Equação (26) limitando a capacidade operacional dos terminais de transbordo e a Equação (59) que limita a capacidade estática de armazenagem.

Em *LTAP-E* as restrições adicionais são as Equações (51) e (52) que dizem respeito a restrição de demanda como considerado no cenário *ATAP* e a Equação (59) para limitação da capacidade estática.

Em *LTAP-A*, por fim, as restrições adicionais são as Equações (51) e (52) para demanda, (26) para a capacidade operacional dos terminais de transbordo e (68) para que a capacidade estática não seja limitada de forma a comprometer a alocação.

As funções objetivo dos cenários *LTAP*, *LTAP-D*, *LTAP-E* e *LTAP-A* são iguais a função objetivo do cenário *ATAP* de modo que a Equação (69) representa essa relação.

$$\begin{aligned}
 Z^{ATAP} = Z^{LTAP} = Z^{LTAP-D} = Z^{LTAP-E} = Z^{LTAP-A} & \quad (69) \\
 & = Transporte^{rodo} + Transporte^{mult} + Transporte^{rodooa} \\
 & + Transporte^{rodoad} + Transporte^{multa} + Armazenagem^{total} \\
 & + Portuário^{total} + \pi \sum_{a \in A} Y_a
 \end{aligned}$$

A Tabela 7 compila as informações que diferenciam cada cenário considerado entre as restrições de movimentação, custos incorporados e as particularidades já desenvolvidas no texto sendo resumidas de forma tabular. Também com a intenção de sumarizar as informações apresentadas nesta seção, a Tabela 8 apresenta um resumo da formulação dos modelos matemáticos em cada cenário considerado apresentando as equações utilizadas para cada situação considerada para o desenvolvimento de cada cenário.

Tabela 7 - Cenários considerados e principais particularidades

Conjunto Cenário	R					A		L				
	RT	RTA	RTP	RTAP	RTAP-AO	ATAP	ATAP-AO	LTAP	LTAP-D	LTAP-E	LTAP-A	
Descrição	Cenário de Reprodução somente com custos de transporte	Cenário de Reprodução somente com custos de transporte e armazenagem	Cenário de Reprodução somente com custos de transporte e portuários	Cenário de Reprodução com todos os custos logísticos	Cenário de Reprodução com todos os custos logísticos e obrigatoriedade de passagem por armazém	Cenário "aberto" com todos os custos logísticos	Cenário "aberto" com todos os custos logísticos e obrigatoriedade de passagem por armazém	Cenário "livre" com todos os custos logísticos	Cenário de demanda "livre" com todos os custos logísticos	Cenário "livre" para terminais com todos os custos logísticos	Cenário "livre" para armazéns com todos os custos logísticos	
Custos incorporados	Transporte	Transporte + Armazenagem	Transporte + Portuários	Transporte + Armazenagem + Portuários	Transp. + Arm. + Port.	Transp. + Arm. + Port.	Transp. + Arm. + Port.	Transp. + Arm. + Port.	Transp. + Arm. + Port.	Transp. + Arm. + Port.	Transp. + Arm. + Port.	
Obrigatoriedade da passagem pelos armazéns (A)	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	
Oferta	Mensal (=)	Mensal (=)	Mensal (=)	Mensal (=)	Mensal (=)	Mensal (=)	Mensal (=)	Mensal (=)	Mensal (=)	Mensal (=)	Mensal (=)	
Demanda	Mensal (=)	Mensal (=)	Mensal (=)	Mensal (=)	Mensal (=)	Anual (<=); Mensal (<= máximo)	Anual (<=); Mensal (<= máximo)	Livre (divisão entre conjuntos K e R)	Livre (divisão entre conjuntos K e R)	Anual (<=); Mensal (<= máximo)	Anual (<=); Mensal (<= máximo)	
Capacidade Terminais de Embarque (E)	Anual (<=); Mensal (<= máximo)	Anual (<=); Mensal (<= máximo)	Anual (<=); Mensal (<= máximo)	Anual (<=); Mensal (<= máximo)	Anual (<=); Mensal (<= máximo)	Anual (<=)	Anual (<=)	Livre	Anual (<=)	Livre	Anual (<=)	
Capacidade Estática de Armazenagem (A)	Mensal (<=)	Mensal (<=)	Mensal (<=)	Mensal (<=)	Mensal (<=)	Mensal (<=)	Mensal (<=)	Livre	Mensal (<=)	Mensal (<=)	Livre	
Estoque de Passagem (Remanescentes)	Parâmetro	Parâmetro	Parâmetro	Parâmetro	Parâmetro	Variável de decisão	Variável de decisão	Variável de decisão	Variável de decisão	Variável de decisão	Variável de decisão	
Formato	LP	LP	LP	LP	LP	MIP	MIP	MIP	MIP	MIP	MIP	

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 8 - Cenários considerados e equações correspondentes ao modelo de otimização proposto

	Conjunto Cenário	R					A		L			
		RT	RTA	RTP	RTAP	RTAP-AO	ATAP	ATAP-AO	LTAP	LTAP-D	LTAP-E	LTAP-A
FO	Função objetivo	(31)	(39)	(40)	(43)	(50)	(61)	(65)	(69)	(69)	(69)	(69)
Restrições	Oferta	(20)	(20)	(20)	(20)	(45)	(20)	(45)	(20)	(20)	(20)	(20)
	Demanda	(19)	(19)	(19)	(19)	(44)	(51) e (52)	(62) e (63)	(66) e (67)	(66) e (67)	(51) e (52)	(51) e (52)
	Equilíbrio de Estoque	(21), (22) e (23)	(21), (22) e (23)	(21), (22) e (23)	(21), (22) e (23)	(21), (22) e (23)	(55), (22) e (56)	(55), (22) e (56)	(55), (22) e (56)	(55), (22) e (56)	(55), (22) e (56)	(55), (22) e (56)
	Fluxo factível nos armazéns	(24) e (25)	(24) e (25)	(24) e (25)	(24) e (25)	(24) e (25)	(57) e (25)	(57) e (25)	(57) e (25)	(57) e (25)	(57) e (25)	(57) e (25)
	Capacidade operacional dos terminais de embarque multimodal	(26) e (27)	(26) e (27)	(26) e (27)	(26) e (27)	(46) e (47)	(26)	(46)	-	(26)	-	(26)
	Capacidade estática dos armazéns	(29)	(29)	(29)	(29)	(29)	(59)	(59)	(68)	(59)	(59)	(68)
	Operação multimodal exclusiva em Vitória (ES)	(28)	(28)	(28)	(28)	(48)	(28)	(48)	(28)	(28)	(28)	(28)
	Estoque de Passagem (variável de decisão)	-	-	-	-	-	(53) e (54)	(53) e (54)	(53) e (54)	(53) e (54)	(53) e (54)	(53) e (54)
	Domínio das variáveis	(30)	(30)	(30)	(30)	(49)	(60)	(64)	(60)	(60)	(60)	(60)
	Formato	LP	LP	LP	LP	LP	MIP	MIP	MIP	MIP	MIP	MIP

Fonte: Elaborado pelo autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção estão apresentados os resultados obtidos através da modelagem matemática para cada cenário analisado. Os resultados estão divididos em seis seções: custos logísticos totais; disposição das variáveis de decisão por mês; destinos de exportação; destinos de consumo; multimodalidade no transporte de soja e milho; cenários com obrigatoriedade na passagem por armazéns; e análise locacional para armazéns graneleiros.

4.1 CUSTOS LOGÍSTICOS TOTAIS

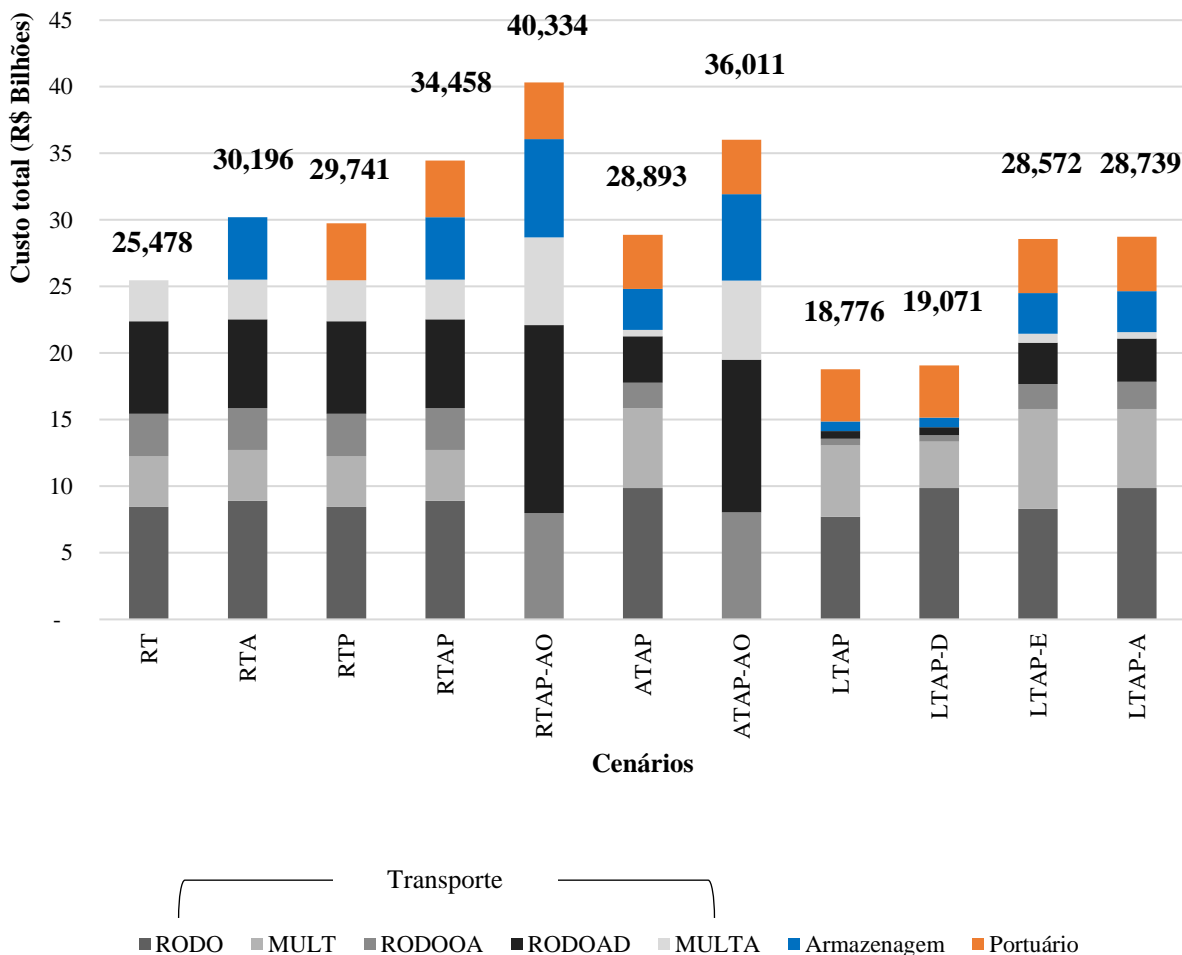
Inicialmente, o primeiro resultado passível de comparação entre todas as possibilidades de composição de custos escolhidas é o custo total, dado pelo resultado da função objetivo de cada cenário calculado, reproduzido com apenas custo de transporte (*RT*), com custos de transporte acrescidos de custo de armazenagem (*RTA*), com custo de transporte acrescido de custos portuários (*RTP*), com todos os custos logísticos de transporte, armazenagem e portuários (*RTAP*), com todos os custos logísticos e passagem obrigatória nos armazéns (*RTAP-AO*), aberto com todos os custos logísticos (*ATAP*), aberto com todos os custos logísticos e passagem obrigatória nos armazéns (*ATAP-AO*), livre com todos os custos logísticos (*LTAP*), livre para demanda com todos os custos logísticos (*LTAP-D*), livre para terminais de transbordo com todos os custos logísticos (*LTAP-E*) e, por fim, livre para armazéns com todos custos logísticos (*LTAP-A*) (Figura 20).

No cenário em que apenas o custo de transporte é otimizado (*RT*), o custo total é da ordem de R\$ 25,478 bilhões, sendo 33,20% dado pelo custo do transporte rodoviário entre região produtora e de destino (*RODO*), 14,95% entre regiões produtoras e de destino com utilização da multimodalidade (*MULT*), 12,44% entre regiões produtoras e armazéns (*RODOOA*), 27,28% entre armazéns e destino via modal rodoviário (*RODOAD*) e 12,13% entre armazéns e destino com utilização de multimodalidade (*MULTA*).

No cenário com otimização dos custos de transporte e armazenagem (*RTA*), os custos totais de transporte sofrem ligeiro aumento (R\$ 25,514 bilhões) e os custos de armazenagem somam R\$ 4,682 bilhões, representando 15,51% do custo total deste cenário. No cenário com custos portuários acrescidos aos custos de transporte (*RTP*), o custo total é de R\$ 29,741 bilhões, sendo 14,33% (R\$ 4,263 milhões) associados aos custos portuários. No último cenário, *RTAP*,

que incorpora todos os custos, o custo logístico total foi de R\$ 34,458 bilhões, sendo 74,04% custos de transporte, 13,59% custos de armazenagem e 12,37% custos portuários.

Figura 20 - Custos totais para cada cenário de otimização e elo logístico



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

No cenário de otimização “aberto” com todos os custos logísticos (*ATAP*), o custo total foi de R\$ 28,893 bilhões, com redução de 16,15% ou R\$ 5,566 bilhões frente ao cenário com os mesmos custos logísticos (*RTAP*). No cenário *ATAP*, os custos de transporte são 75,26% do total, sendo RODO igual a 34,18%, MULT igual a 20,68%, RODOOA igual a 6,62%, RODOAD igual a 12,12% e MULTA igual a 1,65%. Custos de armazenagem e custos portuários representam 10,65% (R\$ 3,076 bilhões) e 14,10% (4,072 bilhões), respectivamente.

Considerando os dois cenários em que a passagem nos armazéns é obrigatória, de reprodução (*RTAP-AO*) e aberto (*ATAP-AO*), os custos se elevam consideravelmente. O aumento é de

17,05% em *RTAP-AO* frente a *RTAP* e de 24,64% em *ATAP-AO* frente a *ATAP*. Este aumento no custo decorre da obrigatoriedade da adição de mais um elo na atividade de transporte total, conectando regiões produtoras às armazenadoras. Comparando *ATAP-AO* com *RTAP-AO*, tem-se que no cenário aberto a redução no custo logístico total é de 10,72% (R\$ 4,323 bilhões), sendo menor do que o observado nos cenários de reprodução e aberto sem a obrigatoriedade da passagem nos armazéns.

O cenário livre com liberdade nas três principais grandezas (demanda, capacidade operacional dos terminais e capacidade estática), *LTAP*, apresenta o menor custo logístico total, totalizando R\$ 18,776 bilhões, sendo possível argumentar que ao comparar com o cenário *RTAP* haveria possibilidade de redução de custos logísticos totais da ordem de 45,51% ou R\$ 15,682 bilhões caso a infraestrutura nacional fosse perfeitamente adequada ao cenário ótimo obtido para o transporte de soja e milho no ano analisado. No cenário com liberdade na demanda (*LTAP-D*), o custo total foi de R\$ 19,071 bilhões, também apresentando grande possibilidade de ganhos frente ao cenário *RTAP* e *ATAP*. No cenário *LTAP-E*, a capacidade ilimitada dos terminais de transbordo apresentou economia de R\$ 320,787 milhões (1,11%) frente o cenário *ATAP*, totalizando R\$ 28,572 bilhões e o cenário *LTAP-A*, a economia foi de R\$ 153,134 milhões (0,53%) em comparação com o cenário *ATAP*, sendo que o custo logístico total nesse cenário foi de R\$ 28,739 bilhões.

4.2 DISPOSIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE DECISÃO POR MÊS

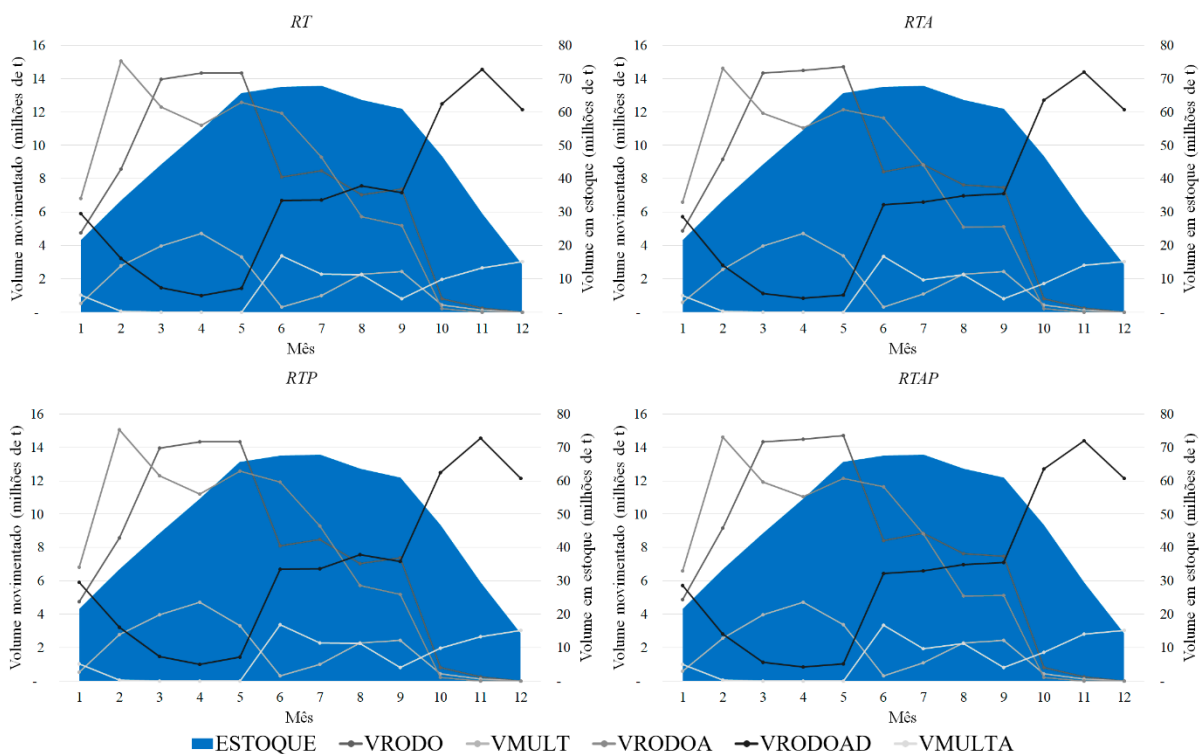
Os cenários *RT*, *RTA* e *RTP* foram criados para confrontar a participação dos principais elos que representam custos para a logística *FOB* de grãos no Brasil: o transporte, a armazenagem e o uso da infraestrutura portuária. Como já foi observado, o principal componente nos custos logísticos está relacionado ao transporte, computando aproximadamente três quartos do custo logístico total.

Pela maior variabilidade mensal dos valores de frete frente aos custos portuários e custos de armazenagem, a inclusão da armazenagem e dos custos portuários na análise não apresenta alteração substancial na disposição das movimentações ao comparar os três cenários de reprodução com particularidades quanto aos elos considerados (*RT*, *RTA* e *RTP*) com o cenário que abrange todos os custos: *RTAP*, o que pode ser observado na Figura 21.

Pela característica de grande controle nos parâmetros considerados nos cenários de reprodução, houve pouca liberdade para que as variáveis de decisão fossem alocadas de forma diferente nestes cenários, além do fato de que o principal custo, relativo as atividades de transporte, está presente em todos os cenários.

Como esperado, as movimentações com direção aos armazéns graneleiros ocorrem principalmente no momento de colheita de soja e a maior movimentação de saída de grãos dos armazéns se dá a partir de outubro, com a finalização das colheitas, mais forte demanda de exportação de soja e principalmente milho que foram colhidos no decorrer do ano. O volume máximo em estoque se dá entre os meses de junho e julho com 67,476 milhões de toneladas no sexto mês e 67,773 milhões de toneladas em julho.

Figura 21 - Movimentações por variável de decisão e volume em estoque por mês para cada cenário de Reprodução (em milhões de toneladas)



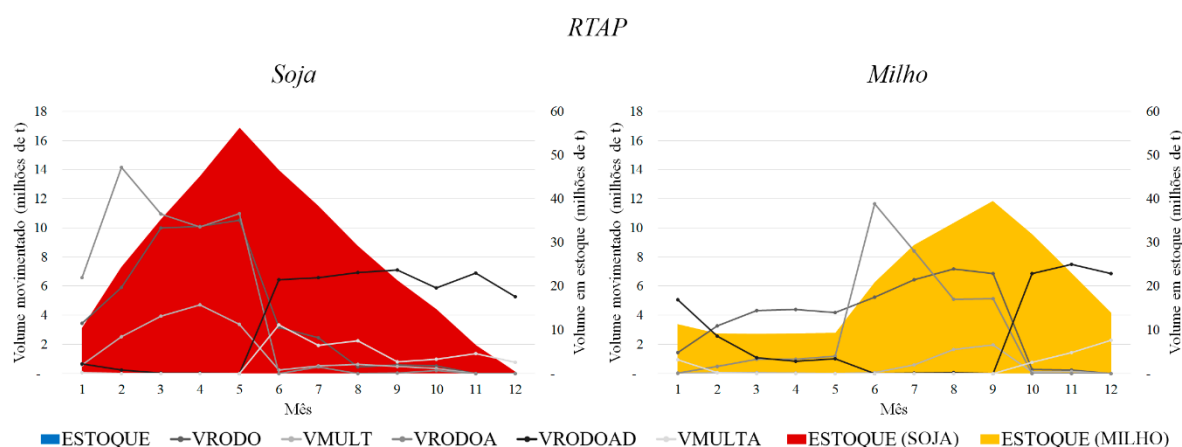
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

Ao dividir as variáveis de decisão do cenário *RTAP* por produtos, tem-se o que é apresentado na Figura 22. A movimentação de soja é concentrada principalmente no primeiro semestre, com a disponibilidade do produto nas regiões produtoras e há acúmulo em estoque até maio, após isso, há maior movimentação para as localidades demandantes e a oferta é

zerada, causando redução no estoque até o volume de estoque de passagem ser atingido no mês de dezembro.

Para o milho, que é produzido em duas safras ao longo do ano, o estoque é reduzido até maio, com a movimentação demandada sendo superior a produção nesse período e, com o início da colheita que se dá no segundo semestre o volume em estoque é novamente crescente até novembro, que, por se encerrar a colheita em todo território nacional, retoma a condição de redução até o final do ano.

Figura 22 - Movimentações por produto, variável de decisão e volume em estoque por mês para o cenário aberto (RTAP) (em milhões de toneladas)

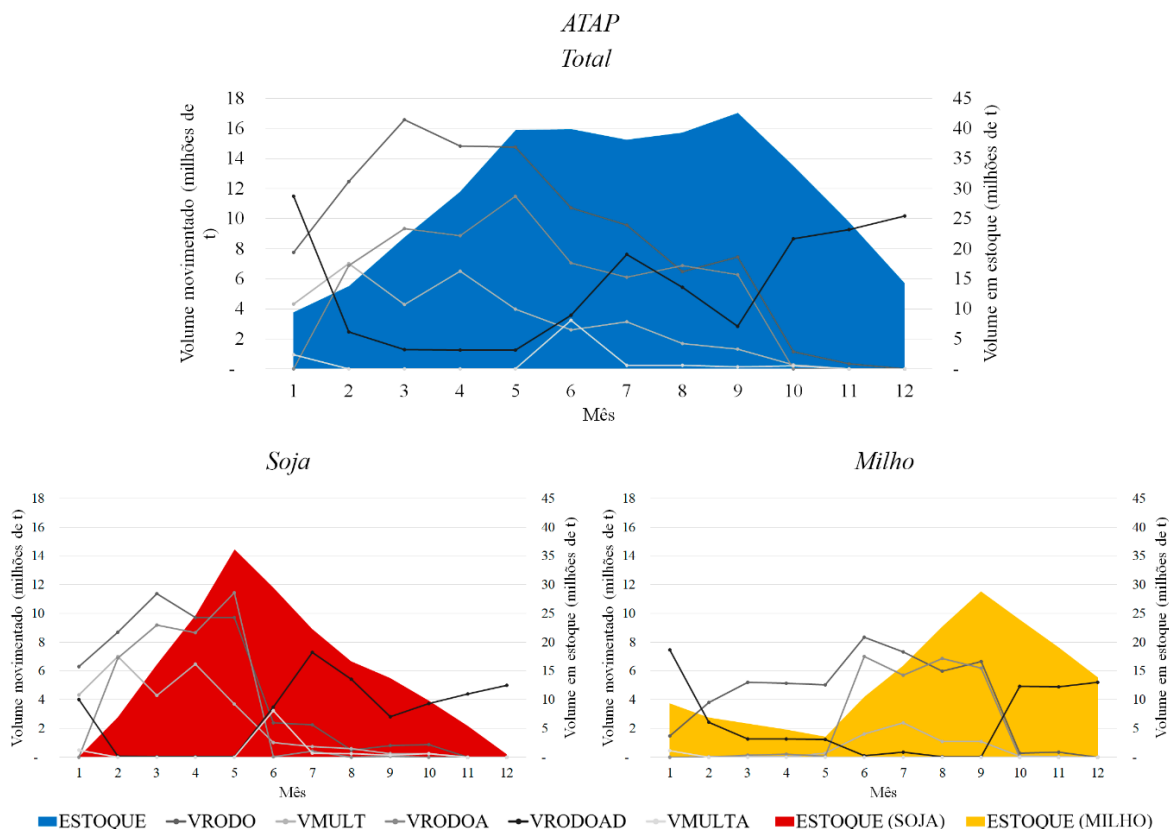


É observado, também, que durante os meses de colheita de soja e milho, as movimentações sem a utilização da armazenagem são maiores que as movimentações à partir dos armazéns - sendo estas zeradas para a soja -, e, nos períodos em que não há oferta das regiões produtoras, a única forma de cumprir com a demanda das localidades de destino é através da movimentação da produção armazenada. Essa inversão é bem clara para o milho nos meses 9 e 10, com a queda no volume observado das variáveis de decisão VRODO, VMULT e VRODOOA e aumento das variáveis VRODOAD e VMULTA.

O volume total movimentado no cenário *RTAP* foi de 295,018 milhões de toneladas, sendo que o mês de maio apresenta maior movimentação (30,123 milhões de toneladas) e o mês de dezembro apresenta o mínimo em termos de volume movimentado (15,188 milhões de toneladas). O custo de transporte médio no cenário é de R\$ 86,48/t.

No cenário *ATAP*, com maiores liberdades relacionadas principalmente a demanda mensal, o volume máximo em estoque total foi inferior aos cenários de reprodução. A Figura 23 apresenta a mesma análise da Figura 21 e da Figura 22 para o cenário aberto. A condição esperada de acúmulo de estoque nos meses de colheita e redução nos meses subsequentes se mantém como visto nos cenários de reprodução.

Figura 23 - Movimentações por variável de decisão e volume em estoque por mês para o cenário aberto (*ATAP*) (em milhões de toneladas)



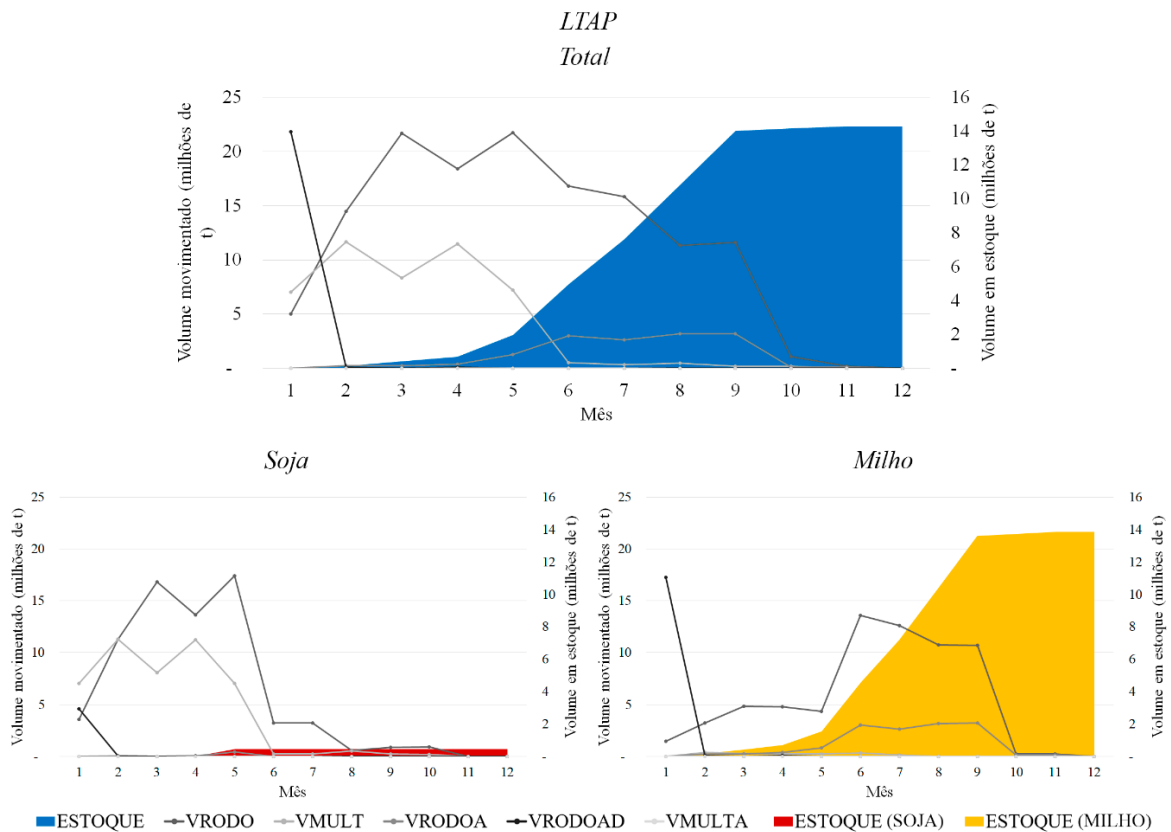
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

Os meses com maior movimentação são abril, maio e junho com aproximadamente 31,5 milhões de toneladas movimentadas em todas as possibilidades em cada mês e o mês com menor movimentação total é novembro, com 9,614 milhões de toneladas de ambos os produtos. No total foram movimentadas 270,575 milhões de toneladas (redução de 8,29% frente a *RTAP*), com custo médio de transporte de R\$ 80,36/t (-7,07%).

Em *LTAP* (Figura 24), as movimentações diretas das regiões produtoras (VRODO e VMULT) são mais expressivas pela inexistência de limitações quanto a utilização de terminais de transbordo, escolha dos portos e localidades no mercado interno para cumprimento da

demanda total e capacidade de armazenagem. O mês com maior movimentação nesse cenário é janeiro, com 33,900 milhões de toneladas.

Figura 24 - Movimentações por variável de decisão e volume em estoque por mês para o cenário livre (LTAP) (em milhões de toneladas)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

A movimentação total multimodal no cenário livre é de 47,504 milhões de toneladas, frente 38,811 milhões em *RTAP* e 40,259 milhões em *ATAP*. De acordo com os dados utilizados, a capacidade total multimodal no Brasil em 2018 é de 60,631 milhões de toneladas. Considerando dessa forma, a capacidade total seria suficiente para suprir o volume obtido no cenário livre, entretanto, a movimentação multimodal nesse cenário se concentra nos meses de fevereiro a abril, com volume médio mensal de 10,477 milhões de toneladas por mês, o que não é possível de ser atingido no país, sem levar em consideração a utilização dos terminais escolhidos, ponto que será discutido nas próximas seções.

A soja colhida no início do ano não é armazenada até maio, sendo totalmente escoada. A partir de maio, o volume requerido como estoque de passagem já se encontra armazenado. O

milho tem pequenos volumes enviados para estoque no primeiro semestre e tendência crescente de aumento de estoque mês a mês a partir de maio para completar o volume requerido de estoque de passagem. As principais movimentações em ambos os produtos são por via rodoviária. O total movimentado é de 222,205 milhões de toneladas (redução de 24,68% frente a *RTAP* e 17,89% frente a *ATAP*) e o custo de transporte médio é de R\$ 63,68/t (-26,37% frente a *RTAP* e -20,76% frente a *ATAP*).

A Tabela 9 apresenta a sumarização dos resultados mensais obtidos para o transporte em cada cenário considerado juntamente com as informações a respeito do custo de transporte total e médio e a Tabela 10 apresenta a mesma análise para armazenagem (volumes e custos).

Tabela 9 - Sumarização das movimentações mensais por cenário considerado*, custo de transporte total** e custo de transporte médio***

Cenário\mês	jan*	fev*	mar*	abr*	mai*	jun*	jul*	ago*	set*	out*	nov*	dez*	Total*	Custo de transporte total**	Custo de transporte médio***
RT	19,041	29,642	31,711	31,239	31,677	30,410	27,803	24,868	23,001	15,886	17,547	15,188	298,014	25,478	85,49
RTA	18,810	29,234	31,361	31,087	31,259	30,123	27,338	24,262	22,931	15,882	17,545	15,188	295,018	25,514	86,48
RTP	19,041	29,642	31,711	31,239	31,677	30,410	27,803	24,868	23,001	15,886	17,547	15,188	298,014	25,478	85,49
RTAP	18,810	29,234	31,361	31,087	31,259	30,123	27,338	24,262	22,931	15,882	17,545	15,188	295,018	25,514	86,48
RTAP-AO	24,299	40,976	49,662	50,283	49,335	38,825	37,297	34,189	32,831	17,109	17,896	15,188	407,889	28,691	70,34
ATAP	24,505	28,845	31,534	31,509	31,491	27,177	26,672	20,697	18,019	10,329	9,614	10,183	270,575	21,744	80,36
ATAP-AO	36,677	49,848	50,243	53,296	48,463	39,785	34,248	29,283	28,150	13,614	12,378	11,905	407,889	25,432	62,35
LTAP	33,900	26,482	30,237	30,342	30,238	20,350	18,797	15,032	15,032	1,444	0,351	-	222,205	14,149	63,68
LTAP-D	33,900	26,482	30,237	30,381	30,238	20,350	18,797	15,039	15,032	1,444	0,351	-	222,251	14,432	64,94
LTAP-E	24,218	29,147	31,534	31,489	31,470	27,452	26,545	21,132	17,993	10,106	9,079	9,761	269,926	21,452	79,48
LTAP-A	23,378	28,825	31,565	31,481	31,534	27,216	26,644	21,093	18,124	10,290	9,572	10,183	269,906	21,566	79,90

*milhões de toneladas; **R\$ bilhões; ***R\$/t.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

Tabela 10 - Sumarização do volume em estoque por mês por cenário considerado*, custo de armazenagem total** e custo de armazenagem médio***

Cenário\mês	jan*	fev*	mar*	abr*	mai*	jun*	jul*	ago*	set*	out*	nov*	dez*	Total*	Custo de armazenagem total**	Custo de armazenagem médio***
RT	21,68	33,46	44,27	54,46	65,60	67,48	67,77	63,65	60,88	46,66	29,47	14,28	569,67	-	-
RTA	21,68	33,46	44,27	54,46	65,60	67,48	67,77	63,65	60,88	46,66	29,47	14,28	569,67	4,682	8,22
RTP	21,68	33,46	44,27	54,46	65,60	67,48	67,77	63,65	60,88	46,66	29,47	14,28	569,67	-	-
RTAP	21,68	33,46	44,27	54,46	65,60	67,48	67,77	63,65	60,88	46,66	29,47	14,28	569,67	4,682	8,22
RTAP-AO	21,68	33,46	44,27	54,46	65,60	67,48	67,77	63,65	60,88	46,66	29,47	14,28	569,67	7,380	12,96
ATAP	9,39	13,82	21,86	29,46	39,70	39,91	38,13	39,34	42,61	33,73	24,46	14,28	346,69	3,076	8,87
ATAP-AO	9,31	12,21	22,44	29,62	41,63	42,54	45,89	46,67	48,59	37,86	26,18	14,28	377,22	6,496	17,22
LTAP	-	0,15	0,41	0,69	1,96	4,97	7,61	10,80	14,02	14,15	14,28	14,28	83,32	0,721	8,65
LTAP-D	-	0,10	0,33	0,54	1,73	4,55	7,65	10,80	14,14	14,16	14,28	14,28	82,55	0,719	8,71
LTAP-E	9,68	13,80	22,01	29,46	39,29	40,04	38,21	38,26	41,43	32,77	24,04	14,28	343,27	3,045	8,87
LTAP-A	10,52	14,95	22,90	30,45	40,69	40,94	39,12	39,74	42,53	33,68	24,46	14,28	354,26	3,093	8,73

*milhões de toneladas; **R\$ bilhões; ***R\$/t.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

Através de ambas as tabelas é possível observar as diferenças entre cada cenário, diferenças que são maiores nos cenários livres com liberdade de demanda *LTAP* e *LTAP-D* no que se diz respeito ao volume total em estoque sendo muito inferior aos outros cenários pelo fato de que a movimentação para regiões armazenadoras é preterida frente a movimentação direta nos momentos de frete baixo (meses de entressafra) além de não haver a necessidade de se somar mais um custo ao sistema.

Outra grande diferença se dá no volume total movimentado, que é muito superior nos cenários em que há obrigatoriedade da passagem pelas unidades armazenadoras: *RTAP-AO* e *ATAP-AO*. Os resultados obtidos para esses cenários serão discutidos na seção 4.6.

4.3 DESTINOS DE EXPORTAÇÃO

Considerando todo o período e os destinos de exportação, tem-se a disposição das movimentações com destino à exportação para os cenários de reprodução com todos os custos logísticos considerados (*RTAP*) e cenário aberto (*ATAP*) (Figura 25).

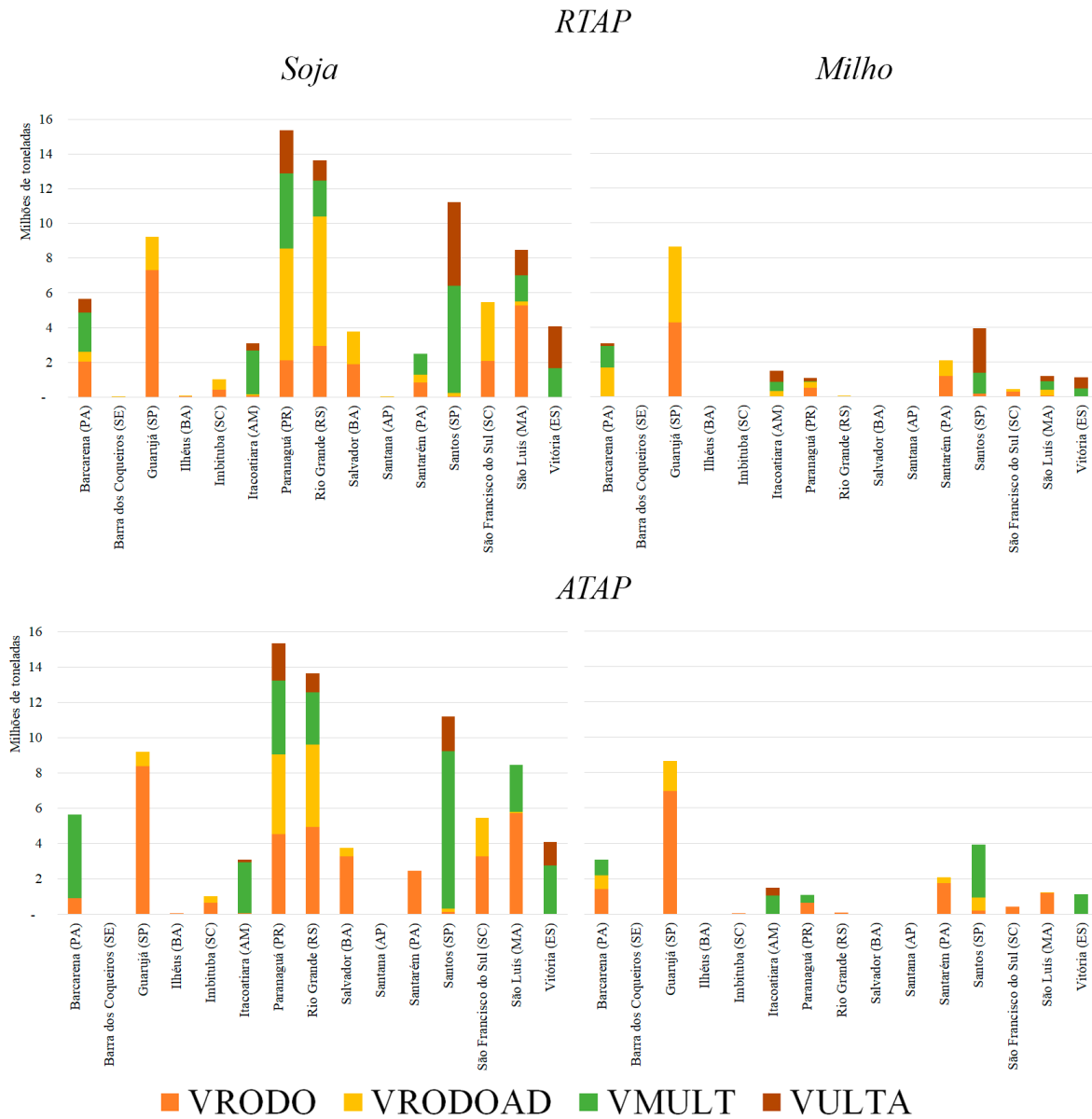
O volume total enviado para cada porto é igual em ambos os cenários por determinação parametrizada no modelo, entretanto a escolha quanto a origem e o modal utilizado é intrínseca. De forma geral, observa-se maior utilização da multimodalidade no cenário aberto para as movimentações com destino a Barcarena (PA) e Rio Grande (RS). Em ambos os cenários, as movimentações para Santos (SP) e Itacoatiara (MA) são quase inteiramente intermodais, realizadas através do terminal de Rondonópolis (MT) e Porto Velho (RO), respectivamente e as movimentações para Paranaguá (PR) tem maior participação multimodal no cenário de reprodução.

Também, no cenário de reprodução os envios sem a passagem por unidades armazenadoras foi inferior ao cenário aberto em 30,70% (57,445 milhões em *RTAP* e 82,894 milhões em *ATAP*), o que demonstra, para a exportação, a existência de possibilidades de redução nos custos totais utilizando de estratégias eficientes de armazenagem, uma vez que, os custos logísticos, o volume movimentado e estoques totais em *ATAP* são inferiores a *RTAP*.

Observa-se grande variabilidade entre os portos, sendo que Santos (SP) e Itacoatiara (AM) têm quase a totalidade dos envios por via multimodal para ambos os produtos, através de

Rondonópolis (MT) para o porto paulista e por via hidroviária através de Porto Velho (RO) para o porto amazonense.

Figura 25 - Disposição das variáveis de decisão que caracterizam as movimentações para os destinos de exportação nos cenários RTAP e ATAP



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

Os envios multimodais para Santarém (PA), através de Itaituba (PA) foram zerados no cenário aberto, sendo que toda a capacidade desse terminal foi alocada aos envios com destino ao porto de Barcarena (PA), mesmo apresentando uma distância hidroviária maior, o que representa a visão global que se tem no modelo de otimização em que considera apenas um tomador de decisão para o mercado brasileiro de soja e milho. A opção multimodal via

Barcarena (PA) é mais custosa, entretanto a relação de custo-benefício em se eliminar parte do fluxo rodoviário necessário para essa movimentação se mostra positiva, de modo que o custo rodoviário de se realizar as movimentações para Barcarena são superiores ao diferencial hidroviário frente a Santarém.

A mesma análise para o cenário livre quanto a demanda, capacidade operacional dos terminais de transbordo e capacidade estática de armazenagem (*LTAP*) apresentado na Figura 26 não se mostra facilmente alcançável pelos padrões atuais de escoamento.

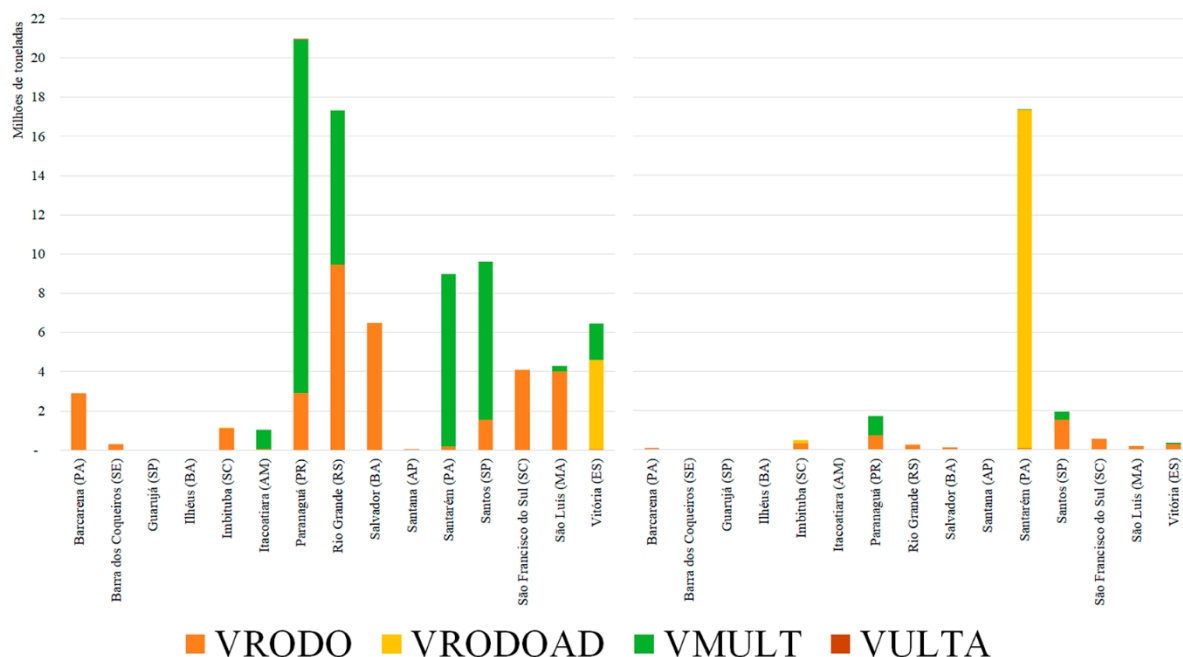
Para a soja, o volume alocado para Paranaguá (PR) foi de 20,968 milhões de toneladas (5,610 milhões de toneladas superior ao volume observado no ano analisado, considerado como capacidade operacional do porto paranaense nos cenários anteriores), tendo como principal formato a movimentação intermodal direto das regiões produtoras (VMULT), que foi predominante para a oleaginosa no total exportado.

O porto de Santos (SP) teve volume embarcado reduzido em 1,609 milhão de toneladas (14,3%) e o porto de Guarujá (SP) não foi alocado na condição de otimalidade do cenário *LTAP*. Rio Grande (RS) apresenta aumento de 27,2% no volume embarcado frente aos cenários de reprodução e aberto, sendo o segundo porto em recebimento de soja para exportação.

Santarém (PA) apresenta forte aumento para soja e milho (261,1% e 733,1% respectivamente), sendo que, para a oleaginosa, a movimentação tem presença majoritária da movimentação multimodal via Itaituba (PA) e para o milho, representou quase a totalidade dos envios de exportação por via rodoviária com a utilização de armazenagem.

Em *RTAP*, a área de influência para soja é todo o estado do Mato Grosso e boa parte dos estados de São Paulo, Goiás, Tocantins além de mesorregiões da Bahia, Mato Grosso do Sul e Paraná, e para o milho, é Mato Grosso e Parte do estado paulista. Em *ATAP*, a área de influência é menos concentrada para soja, mas mantendo todos os estados vistos em *RTAP* menos Tocantins e para o milho, somente a mesorregião Sudeste Mato-grossense envia o cereal para Santos (SP), utilizando-se do terminal de Rondonópolis (MT), que fica localizado na mesma mesorregião, além de participação de cargas do estado de Minas Gerais.

Figura 26 - Disposição das variáveis de decisão que caracterizam as movimentações para os destinos de exportação no cenário *LTAP* para soja (direita) e milho (esquerda)



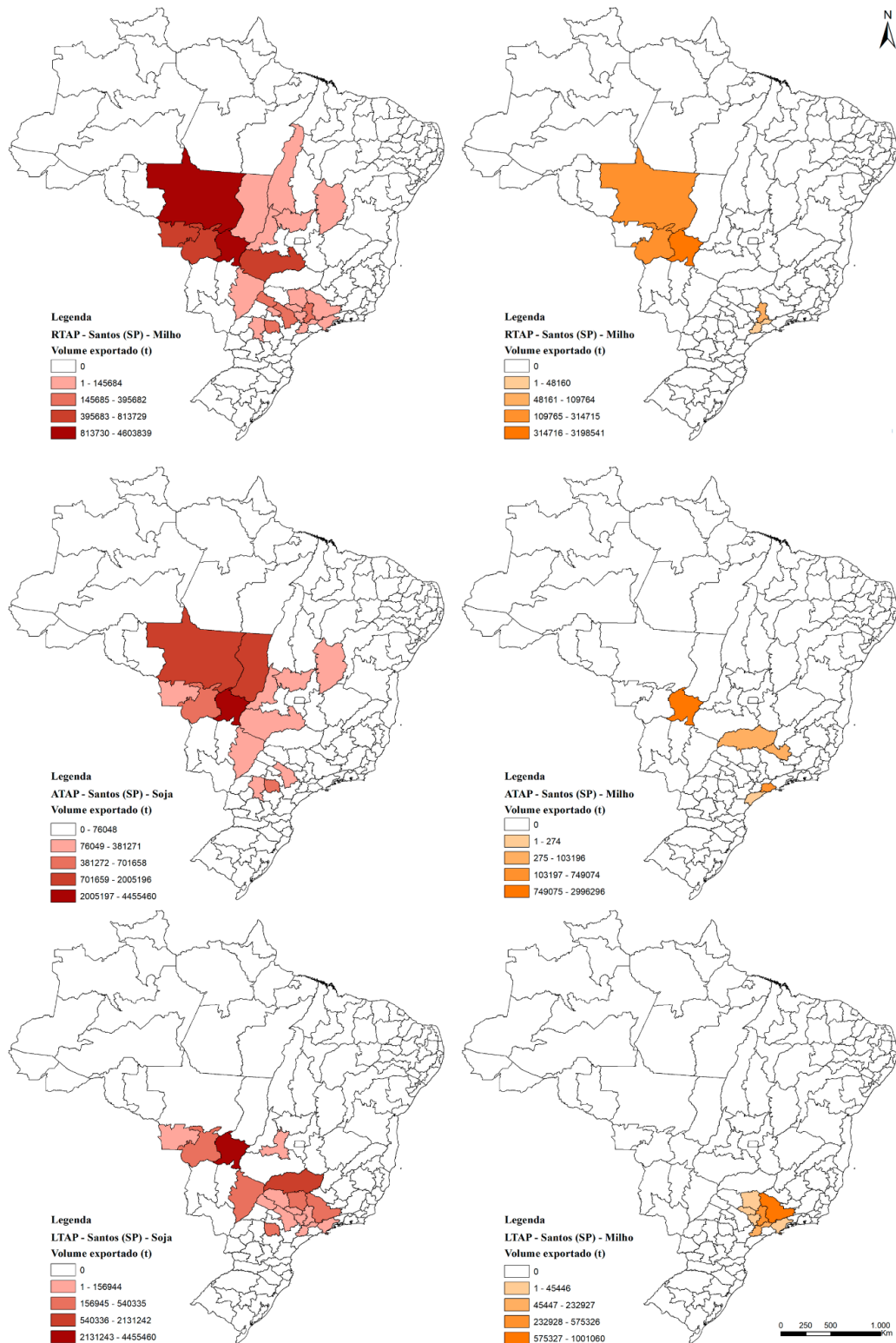
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

As variações quanto as origens da carga (podendo ser através das regiões produtoras ou armazenadoras) que chegam ao porto de Santos (SP) para os três cenários discutidos nessa sessão (*RTAP*, *ATAP*, *LTAP*) podem ser observadas na Figura 27.

Em *LTAP*, as cargas são ainda mais concentradas, e o envio principal de soja se mantém no Mato Grosso (pela utilização de Rondonópolis), Minas Gerais e São Paulo e somente São Paulo e Mato Grosso para milho.

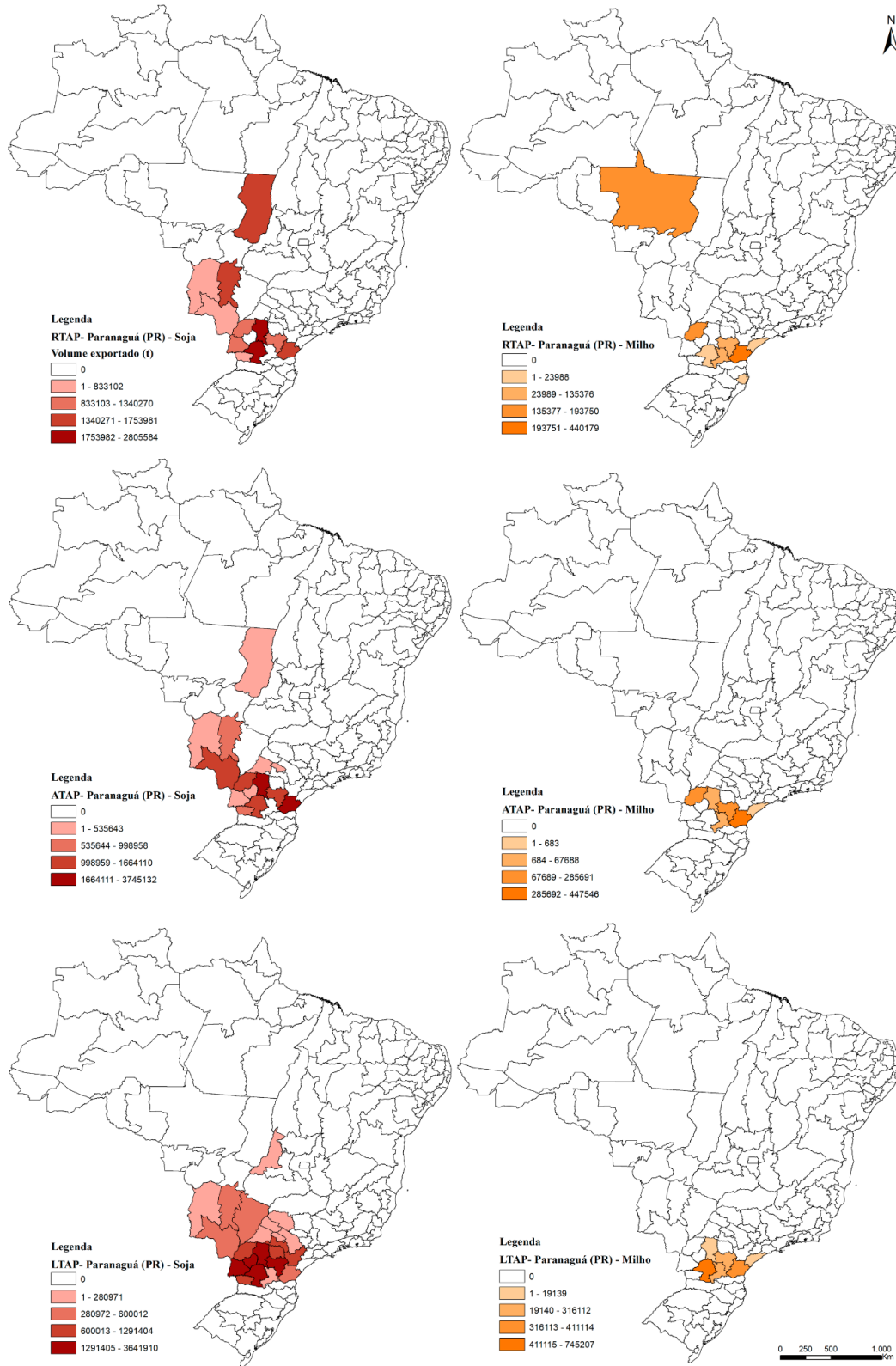
O porto de Paranaguá (Figura 28), por sua vez, exerce forte influência sobre o estado do Paraná, pela característica de grande produção no estado, consumindo boa parte da capacidade do porto com as movimentações originadas no próprio estado. Essa influência é observada de modo que, em todos os cenários, o porto de Paranaguá recebe carga de praticamente todas as mesorregiões do estado para soja e milho.

Figura 27 – Volume exportado pelo porto de Santos (SP) nos cenários *RTAP*, *ATAP* e *LTAP* para soja e milho por mesorregião



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

Figura 28 – Volume exportado pelo porto de Paranaguá (PR) nos cenários *RTAP*, *ATAP* e *LTAP* para soja e milho por mesorregião



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

No cenário *LTAP*, principalmente, a maior movimentação de soja é originada no Paraná e Mato Grosso do Sul, o que corrobora as informações vistas na Figura 26 que apresenta o porto paranaense como o porto com maior recepção de soja no cenário livre, sendo a maior parte desse envio por via rodoviária, que se torna factível dado as baixas distâncias e a grande disponibilidade de grãos devido a produção do estado.

Nos cenários *RTAP* e *ATAP*, a mesorregião Nordeste Mato-grossense faz parte da área de influência do porto paranaense para a captação de soja, entretanto essa participação é reduzida com o aumento da liberdade nas alocações do modelo, sendo 1,678 milhão de toneladas em *RTAP*, 535.643 em *ATAP* e zero em *LTAP*, ao mesmo tempo que a participação do estado do Paraná aumenta.

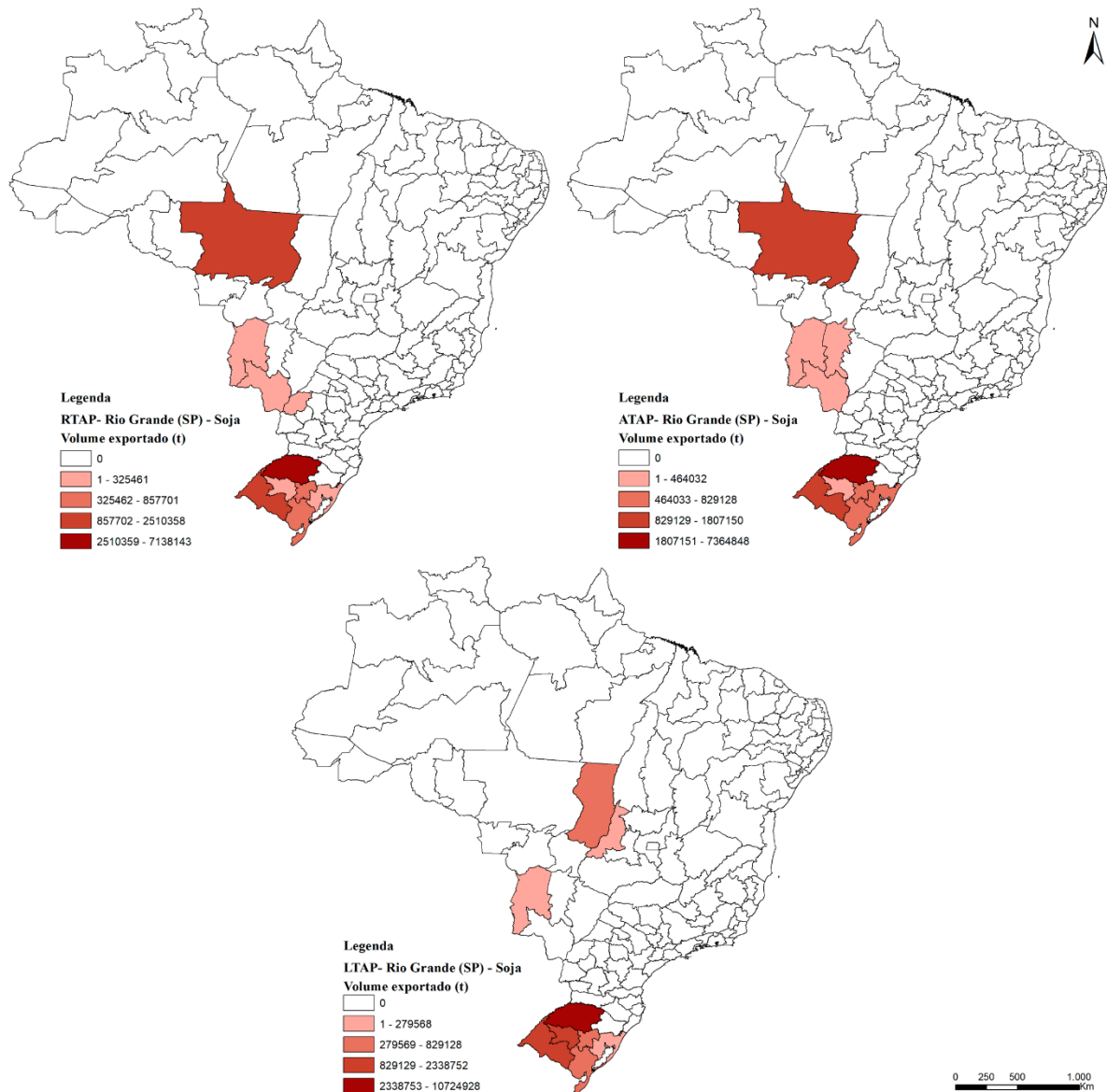
Para o milho, o estado do Mato Grosso faz parte da área de influência do porto de Paranaguá (PR) apenas no cenário de reprodução, com envio de 179.407 toneladas ao porto a partir da mesorregião Norte Mato-grossense.

A vasta produção mato-grossense e sua localização geográfica faz com que esse estado envie cargas para praticamente todos os portos brasileiros mesmo que as distâncias médias superem os 2.000 km, que é o caso do porto de Rio Grande (RS), que apresenta a mesma condição regional do porto de Paranaguá (PR), entretanto exerce influência sobre o estado do Mato Grosso para a soja, vide Figura 29.

Em *RTAP* e *ATAP*, a influência interestadual se dá na mesorregião Norte Mato-grossense e na porção oeste do estado do Mato Grosso do Sul e em *LTAP*, há influência na mesorregião Nordeste Mato-grossense, além de Goiás e Mato Grosso do Sul, contudo a maior parte da carga destinada ao porto gaúcho provém da produção do estado.

Outra forma de analisar de forma subjetiva e desagregada, sem necessitar da reotimização de toda a rede logística - como é realizada no cenário *LTAP*, é através da análise marginal dos parâmetros de demanda no cenário *RTAP* (pela construção do cenário à luz de programação linear).

Figura 29 - Volume exportado pelo porto de Rio Grande (RS) nos cenários *RTAP*, *ATAP* e *LTAP* para soja por mesorregião



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

O preço sombra sendo zero indica que o aumento de uma unidade de demanda em um porto não traz qualquer contribuição ao resultado da função objetivo. Caso o preço sombra seja negativo, a contribuição é negativa no valor da função objetivo, ou seja, o custo total é reduzido e caso o preço sombra seja positivo, a contribuição é positiva no resultado da função objetivo, havendo, portanto, acréscimo no custo total do sistema otimizado com a adição de uma unidade de capacidade de demanda naquele porto.

Ademais, as informações dos preços sombra apresentados para cada porto e mês representam a alteração na função objetivo do problema com todas outras informações em condição *ceteris paribus*, não havendo confirmação da ocorrência das mesmas alterações projetadas caso haja mudança em mais de um valor parametrizado.

Como as equações relacionadas a demanda no cenário *RTAP* são igualdades para cada destino, produto e mês, em que a capacidade dos portos é dada pela demanda observada no ano de análise, pela condição de reprodução que é considerada no cenário, os preços sombra obtidos também têm a mesma dimensão. Desse modo, a Figura 30 traz o preço sombra para cada porto e mês para a soja.

Pelo fato de os preços sombra de cada produto serem condicionados aos portos e aos meses, não é possível, entender o impacto exclusivo de uma dimensão. Por isso, na maior parte dos portos, no início do ano os preços sombras são negativos e a condição tende a ser inversa ao final do ano, uma vez que a oferta de soja se dá no primeiro semestre e para que a movimentação seja exportada no segundo semestre, seria adicionado custos de armazenagem. Assim o impacto de um aumento na capacidade de demanda de um porto no segundo semestre tende a ser menos vantajosa para a otimização do sistema, e pela questão da igualdade nos parâmetros, pode ter uma relação de aumento no custo total da rede (preço sombra positivo). Como em *RTAP* tanto a oferta como a demanda são condições de igualdade mensal, a oportunidade de aumento na capacidade (ou demanda) de um porto também pode ter a interferência da oferta, acrescentando um ponto de análise.

Para o porto de Santos (SP), o preço sombra só é negativo no primeiro mês do ano, sendo superior a R\$ 70,00/t adicional a partir de junho. Para o porto de Paranaguá (PR), o primeiro semestre é marcado por preços sombras timidamente negativos com aumento a partir de junho, para valores próximos a R\$ 60,00/t adicional.

O porto com preço sombra atingindo valores mais negativos por maior número de meses é o porto de Santarém (PA). Em janeiro e outubro os preços sombra foram inferiores a -R\$ 125,00/t adicional, demonstrando o forte potencial de redução de custos da rede logística de soja com o aumento na capacidade e, conseqüentemente, a demanda do porto paraense.

Figura 30 - Preços sombra para cada porto para a soja no cenário *RTAP* por mês (R\$/t)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

A mesma análise é possível para o milho e está apresentada na Figura 31 para os mesmos portos já apresentados para a soja. Como já foi comentado anteriormente, a necessidade de

cumprimento da demanda e oferta dos portos, produtos e meses no formato de igualdade no cenário *RTAP* difere da utilização de preços sombra em análises que levam em conta apenas uma dimensão, sendo usual serem utilizados para entender o impacto do aumento ou redução da capacidade de determinada parte do processo no todo de forma exclusiva.

Por isso, no último trimestre do ano, que registrou maior demanda de exportação de milho, o preço sombra só foi negativo em três ocasiões sendo outubro e novembro para o porto de Rio Grande (RS) e outubro para o porto de Imbituba, o que não pode ser interpretado pela inviabilidade do aumento na capacidade ou demanda dos outros portos, pois os preços sombras para o cereal nesses meses sofrem maior influência dos totais gerais enviados e a consequente elevação nos valores de frete e necessidade de utilização da armazenagem que acarreta na adição dos custos de armazenagem nesse período (uma vez que a produção de milho nas principais regiões produtoras consideradas se encerra em setembro).

Mesmo com todas as dimensões envolvidas na análise dos preços sombra apresentados, é possível observar os impactos isolados através da diferença desses resultados com uma visão geral, assim, destaca-se a maior importância do porto de Santarém (PA), que apresenta preços sombra negativos em todos os meses até o terceiro trimestre do ano e o porto de Barcarena (PA), com preços sombra inferiores a -R\$ 80,00/t de março a junho.

O porto de Rio Grande (RS) teve preços sombra negativos ou nulos em todos os meses do ano, com resultados próximos ao do porto de Imbituba (SC), o que também é resultado da baixa participação desses portos para a exportação de milho no país, pela condição de priorização da produção de outros grãos e cereais no segundo semestre da região Sul, não havendo grande disponibilidade de milho como no restante das áreas produtoras no país.

Figura 31 - Preços sombra para cada porto para o milho no cenário RTAP por mês (R\$/t)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

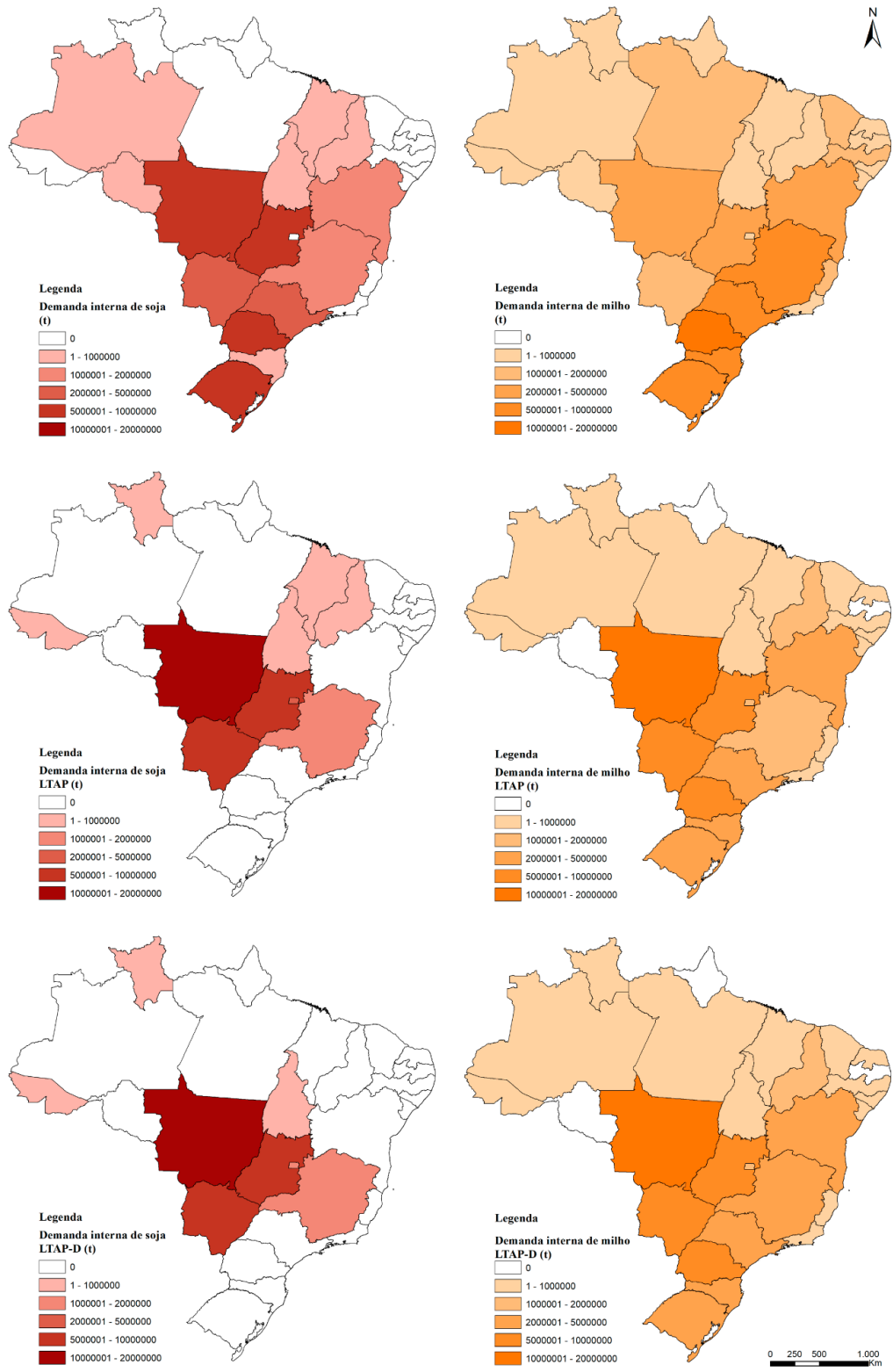
4.4 DESTINOS DE CONSUMO (MERCADO INTERNO)

Em todos os cenários em que a demanda interna foi parametrizada, as movimentações priorizaram as menores distâncias (que tendem a representar menores custos, dado as curvas de frete utilizadas para composição do parâmetro de custos de transporte), sendo, na maior parte das vezes, representada pela movimentação com origem nas regiões produtoras ou armazenadoras do próprio estado para o centroide de destino de consumo do mesmo estado. Assim, o foco desse capítulo será comparar as informações parametrizadas com os cenários em que há liberdade para com a demanda. A Figura 32 apresenta a distribuição da demanda interna requerida nos cenários com demanda por destino em condição de igualdade (cenários de reprodução, cenários abertos, *LTAP-E* e *LTAP-A*) e nos cenários em que a restrição era apenas quanto ao volume total a ser exportado e movimentado no mercado interno (*LTAP* e *LTAP-D*).

Em nenhum cenário com liberdade de demanda, houve movimentação a partir de armazéns para o mercado interno, sendo que todas as movimentações foram originadas nas regiões produtoras. A principal diferença entre a demanda parametrizada e os cenários de liberdade está no Mato Grosso, sendo que o estado captou 16,521 milhões de toneladas de soja e 18,551 milhões de toneladas de milho em *LTAP* e 19,605 milhões de toneladas de soja e as mesmas 18,551 milhões de toneladas de milho em *LTAP-D* frente a demanda parametrizada de 8,343 milhões de toneladas da oleaginosa e 3,371 milhões de toneladas do cereal.

O número de estados alocados também é inferior com o aumento da liberdade. Para a soja, 14 estados tem unidades processadoras de soja, sendo que apenas seis delas fizeram parte da solução ótima em *LTAP* e cinco em *LTAP-D*. Para o milho, de todos os estados e o Distrito Federal com processamento do cereal, três estados não foram alocados nos dois cenários de liberdade. O estado do Paraná, com demanda parametrizada de 7,317 milhões de toneladas de soja, não teve alocação nos cenários de liberdade para a oleaginosa e das 14,382 milhões de toneladas de milho, apenas 53,24% e 53,89% foram alocadas para o mercado interno do cereal em *LTAP* e *LTAP-D*, respectivamente. Pela condição de grande produção e proximidade do porto de Paranaguá (PR), nos cenários de liberdade há priorização da exportação, como já foi observado na grande participação do porto de Paranaguá (PR) nas exportações totais em *LTAP* (Figura 26).

Figura 32 - Demanda interna parametrizada e volume alocado em *LTAP* e *LTAP-D* para soja e milho por UF



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

4.5 MULTIMODALIDADE NO TRANSPORTE DE SOJA E MILHO

Nos cenários de reprodução e aberto, não houve grande variação no uso dos terminais de embarque multimodal, em função do cenário de custos especificado, sendo que no cenário *RT* e *RTP* a utilização foi de 64,81% da capacidade e em *RTA* e *RTAP* foi de 64,01%. O cenário aberto com todos os custos (*ATAP*) registrou 66,40% de utilização da capacidade considerada de todos os terminais multimodais.

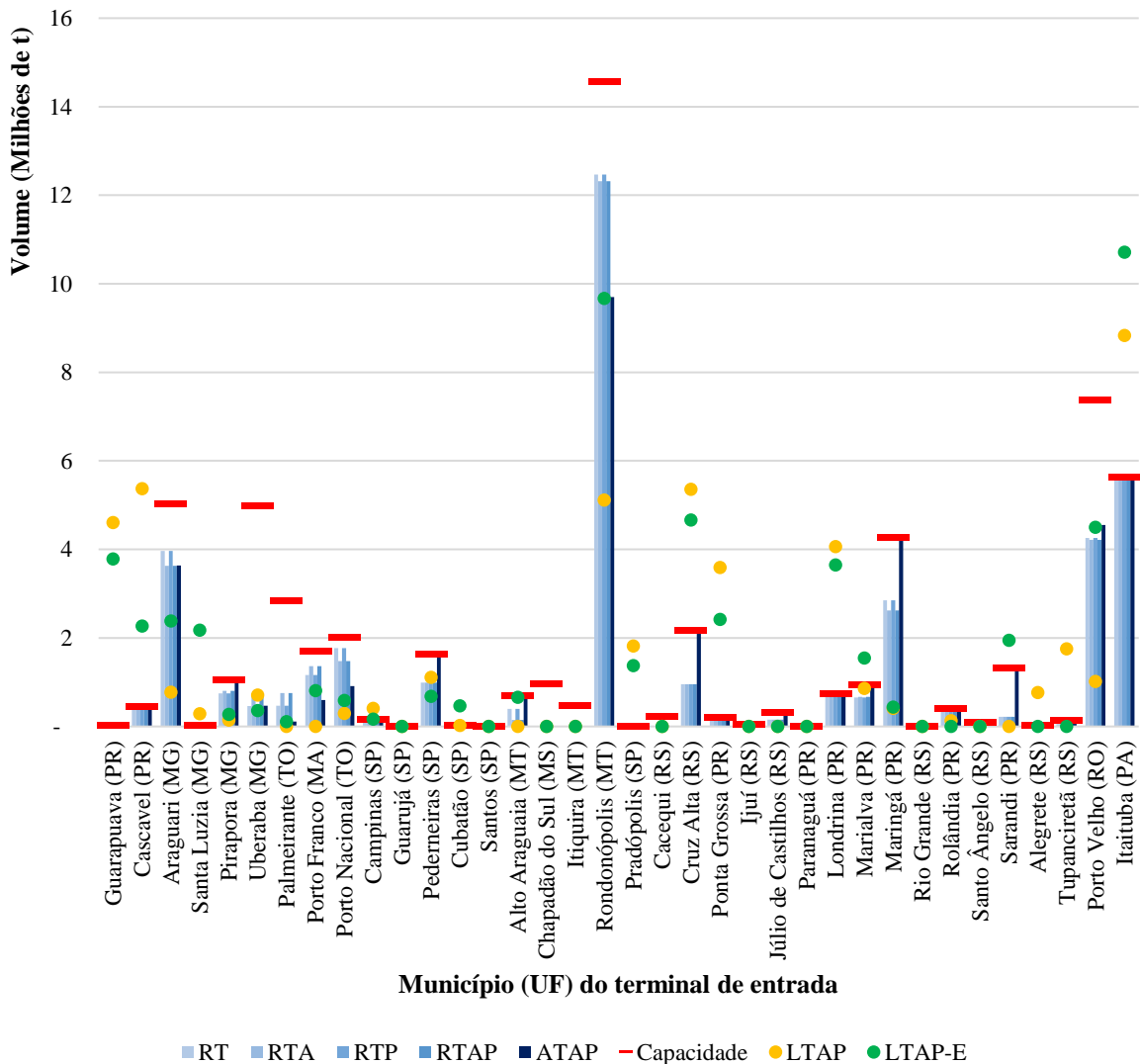
A Figura 33 ilustra esses números para cada cenário de reprodução (em tons claros de azul) e o cenário “aberto” (azul escuro), bem como a capacidade de operação dos terminais como limitante (vermelho). Os valores movimentados referentes aos cenários livres *LTAP* (para demanda, capacidade operacional dos terminais de transbordo e capacidade de armazenagem) e *LTAP-E* (liberdade apenas quanto a capacidade operacional dos terminais de transbordo) estão demarcados como esferas amarelas e verdes, respectivamente.

A utilização dos terminais de transbordo no cenário *LTAP* foi de 47,504 milhões de toneladas, ou 78,35% da capacidade considerada para o país e em *LTAP-E* o uso foi de 91,86% (55,694 milhões de toneladas).

O cenário *LTAP* não representa de forma apropriada a capacidade operacional ótima necessária para os terminais de transbordo por ter grande liberdade quanto a demanda, algo que não é facilmente alcançável ao se comparar com o cenário de movimentação de grãos vigente. Assim, a comparação com o cenário *LTAP-E* é mais vantajosa.

O terminal com maior utilização é o terminal hidroviário de Miritituba, localizado em Itaituba (PA). Esse terminal foi totalmente utilizado em todos os cenários de reprodução e *ATAP*, sendo que em *LTAP* a capacidade necessária para a rede otimizada seria de 8,835 milhões de toneladas no ano e em *LTAP-E* 10,717 milhões de toneladas (aumento de 90,44% frente a capacidade considerada).

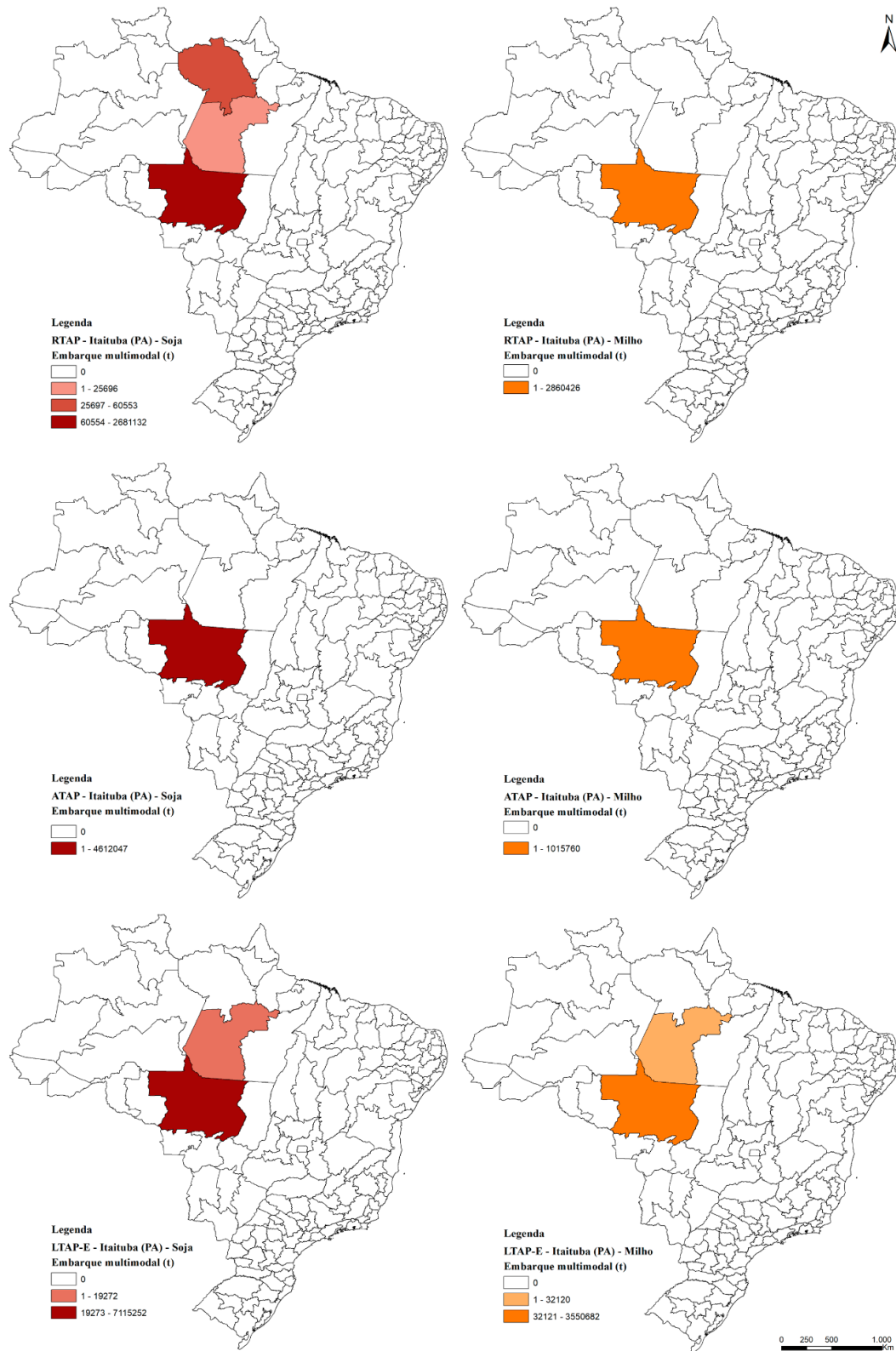
Figura 33 - Volume embarcado e capacidade de cada terminal de entrada para todos os cenários de reprodução, ATAP, LTAP e LTAP-E



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

A área de influência desse terminal é principalmente a mesorregião Norte Mato-grossense, como visto na Figura 34, que apresenta as áreas de influência do terminal em Itaituba (PA) para os cenários *RTAP*, *ATAP* e *LTAP*. Em *RTAP*, a área de influência de soja abrange além da mesorregião Norte Mato-grossense (com a maior parte do volume) e a porção oeste do estado do Pará, sendo apenas o Mato Grosso para o milho. Para ambos os produtos, em *ATAP*, a área de influência do terminal é exclusivamente a mesorregião Norte Mato-grossense. Por fim, em *LTAP-E*, a área de influência é a mesma para soja e milho, com maior parte da movimentação partindo da mesorregião Norte Mato-Grossense e participação da mesorregião Sudoeste Paraense.

Figura 34 - Volume embarcado no terminal de Miritituba, em Itaituba (PA), nos cenários *RTAP*, *ATAP* e *LTAP-E* para soja e milho por mesorregião

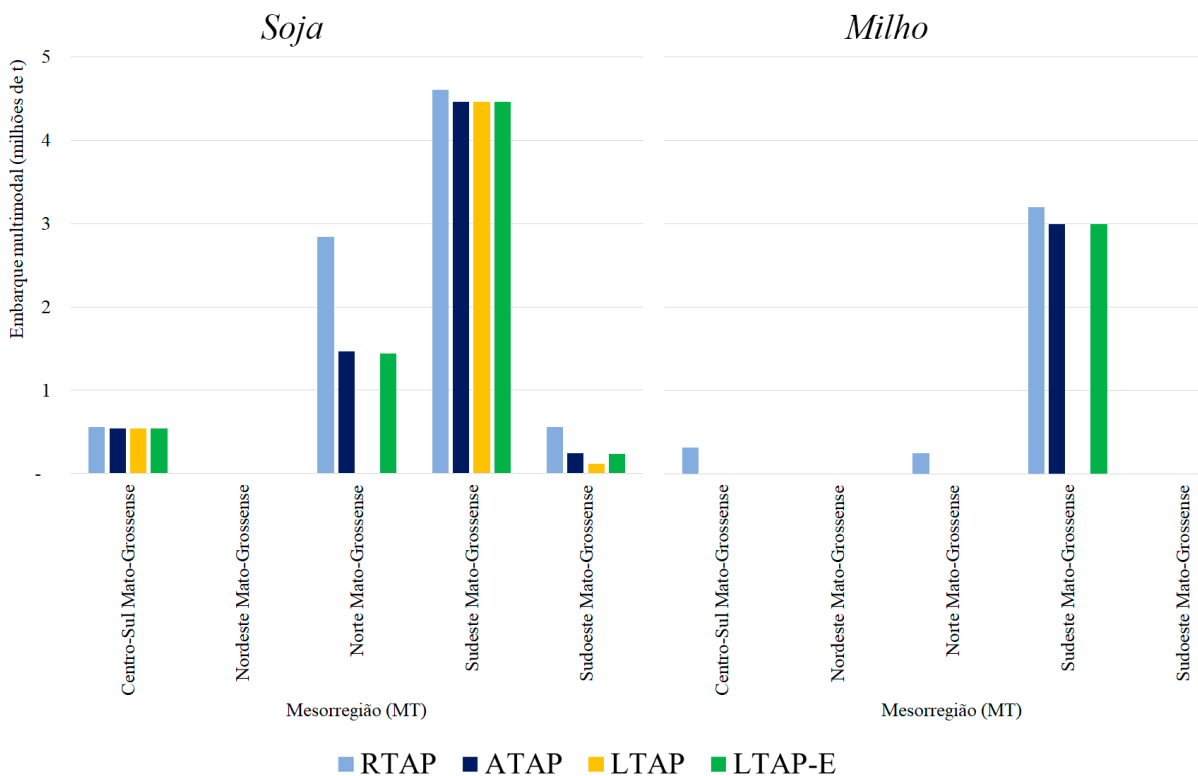


Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

O terminal de Rondonópolis (MT), principal conexão com o porto de Santos (SP) não foi totalmente utilizado em nenhum cenário considerado. Ademais, quanto maior a liberdade atribuída às variáveis de decisão, menor foi a alocação de volume de soja e milho embarcado nesse terminal. A movimentação média observada nos cenários de reprodução foi de 12,394 milhões de toneladas (85,02% da capacidade). Em *ATAP* e *LTAP-E* a utilização foi de 9,700 milhões de toneladas ou 66,43% da capacidade.

A área de influência do terminal mato-grossense de Rondonópolis (MT) abrange apenas o próprio estado, que é subdividido em cinco mesorregiões. A Figura 35 apresenta os volumes captados pelo terminal a partir de cada mesorregião do estado para os cenários *RTAP*, *ATAP*, *LTAP* e *LTAP-E*.

Figura 35 - Área de influência do terminal de Rondonópolis e volumes captados nos cenários *RTAP*, *ATAP*, *LTAP* e *LTAP-E*



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

A principal mesorregião em termos de captação de carga é a mesorregião Sudeste Mato-grossense dado a proximidade com o terminal uma vez que este está localizado nesta mesorregião. Em todos os cenários o volume captado dessa mesorregião foi superior a 4

milhões de toneladas para a soja e todos os cenários com exceção de *LTAP* apresentaram captação superior a 3 milhões de toneladas para o milho.

A mesorregião de maior produção do estado, Norte Mato-Grossense, apresentou redução na captação nos cenários *ATAP* e *LTAP-E* frente a *RTAP*, não fazendo parte da área de influência do terminal no cenário *LTAP*. Em todos os cenários e para ambos os produtos, a captação de *LTAP-E* não foi diferente a *ATAP* de modo que em nenhum cenário o limite de capacidade operacional do terminal foi esgotado, o que resulta no entendimento de que este terminal não apresenta oportunidades de redução de custo no sistema geral com a adição de capacidade, além de que a área de influência desse terminal nos cenários otimizados não apresenta forte competitividade com outra solução logística dado que os valores captados em *LTAP-E* foram iguais em *ATAP*, considerando os valores de frete utilizados como parâmetros.

A mesma condição de redução na utilização do terminal com maior liberdade atribuída as variáveis de decisão ocorre com o terminal hidroviário de Porto Velho (RO), que conecta ao porto de Itacoatiara. Neste, o volume médio embarcado nos cenários de reprodução é de 57,43%, passando para 61,68% em *ATAP* e 61,03% em *LTAP-E* e a área de influência do terminal é dada pelo estado de Rondônia, Acre e Mato Grosso (principalmente nas mesorregiões Sudoeste Mato-grossense e Norte Mato-grossense).

A mesorregião Norte Mato-grossense também faz parte da área de influência do porto rondoniense, vide Figura 36. Além do estado do Mato Grosso, o terminal exerce influência em seu próprio estado e, no caso da soja, no Acre.

Em *LTAP-E*, 16 das 36 localidades de terminais de transbordo de entrada tem alocação inferior a 10% da capacidade observada em 2018. Desses, sete estão localizados no estado do Rio Grande do Sul, dois no Paraná e São Paulo e outros em Minas Gerais, Tocantins, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Apenas o terminal de Cruz Alta (RS) se mostrou viável para aumento na capacidade operacional de transbordo, de 2,174 milhões de toneladas para 4,668 milhões de toneladas, que representaria aumento de 115% na capacidade do terminal ou 54% na capacidade de todo estado.

O volume embarcado em terminais multimodais no cenário *LTAP-E* para o estado do Paraná foi 92% maior do que a capacidade observada, somando 16,063 milhões de toneladas. Os

terminais que tiveram maior volume alocado foram Guarapuava (PR) com 3,788 milhões de toneladas, Londrina (PR) com 3,652 milhões de toneladas e Ponta Grossa (PR) com 2,417 milhões de toneladas. O terminal de Maringá (PR), maior em capacidade no estado com 4,278 milhões de toneladas em 2018 teve redução de 90% na alocação no cenário *LTAP-E*, com apenas 438,9 mil toneladas designadas ao porto de Paranaguá por meio deste terminal.

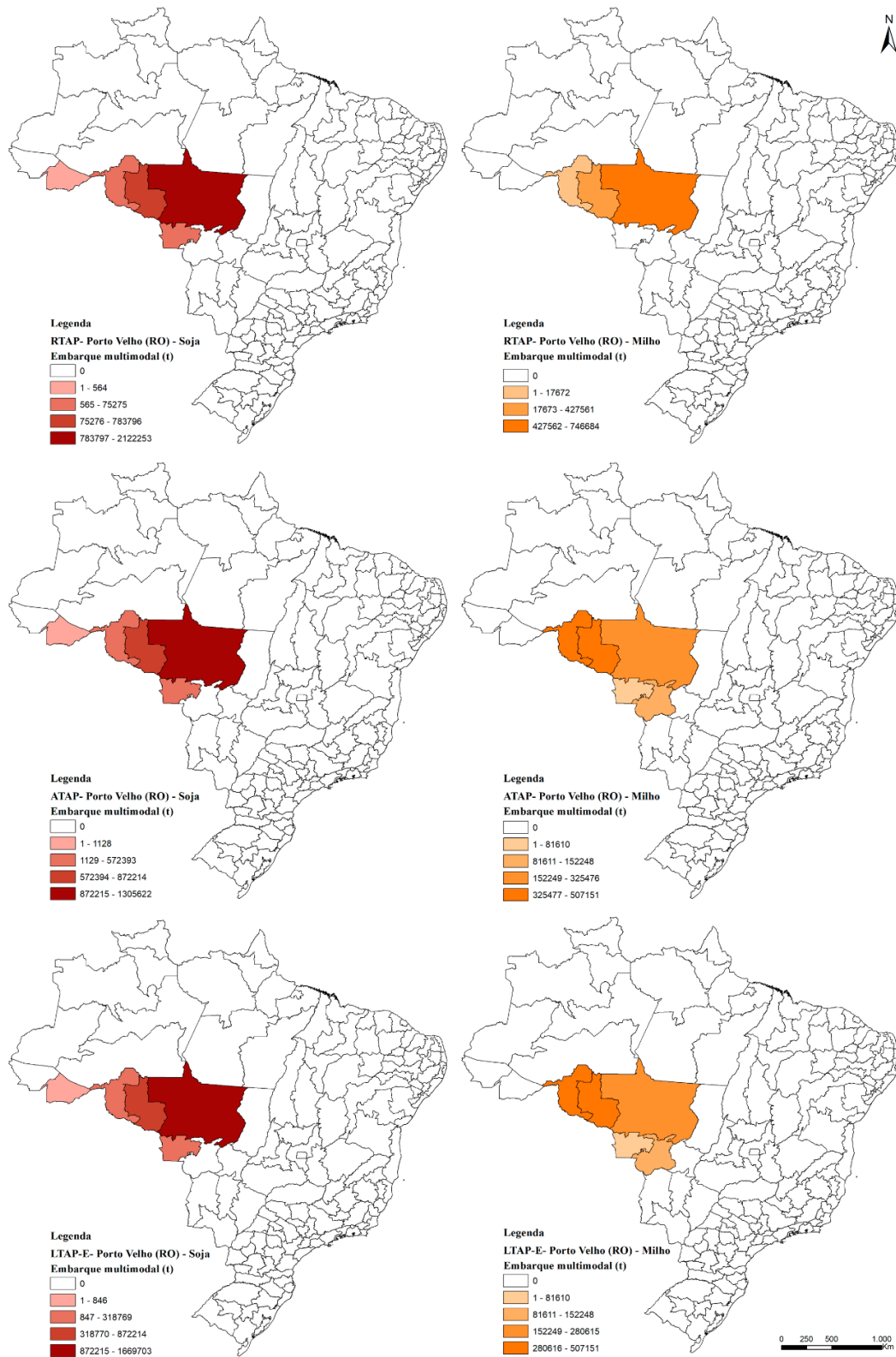
A Figura 37 traz a área de influência dos dois terminais paranaenses com maior captação de carga no cenário *LTAP*. A principal mesorregião que faz parte da área de influência de Londrina (PR) é a Norte Central Paranaense, com envio de 3,071 milhões de toneladas de soja e 450.488 toneladas de milho. O terminal de Guarapuava tem como área de influência exclusiva a mesorregião Centro-Sul Paranaense com captação de soja, apenas.

No Mato Grosso, estado com maior capacidade multimodal para movimentação de soja e milho, a alocação em *LTAP-E* foi 34% menor do que a capacidade. O terminal de Itiquira (MT) não foi utilizado e o terminal de Alto Araguaia (MT) apresentou movimentação de 663 mil toneladas (96% da capacidade).

Os estados com menor alocação com relação a capacidade operacional em 2018 para o cenário *LTAP-E* foram o Mato Grosso do Sul e o Tocantins. No Mato Grosso do Sul, nenhuma carga foi alocada no único terminal considerado, em Chapadão do Sul (MS). O terminal de Palmeirante (TO) teve utilização média de 4% da sua capacidade de embarque e o terminal de Porto Nacional (TO) teve utilização média de 29%. O deságio na capacidade do Estado foi de 86%. O terminal de Porto Franco (MA), localizado na mesma malha férrea dos terminais tocantinenses teve utilização de 47% da capacidade.

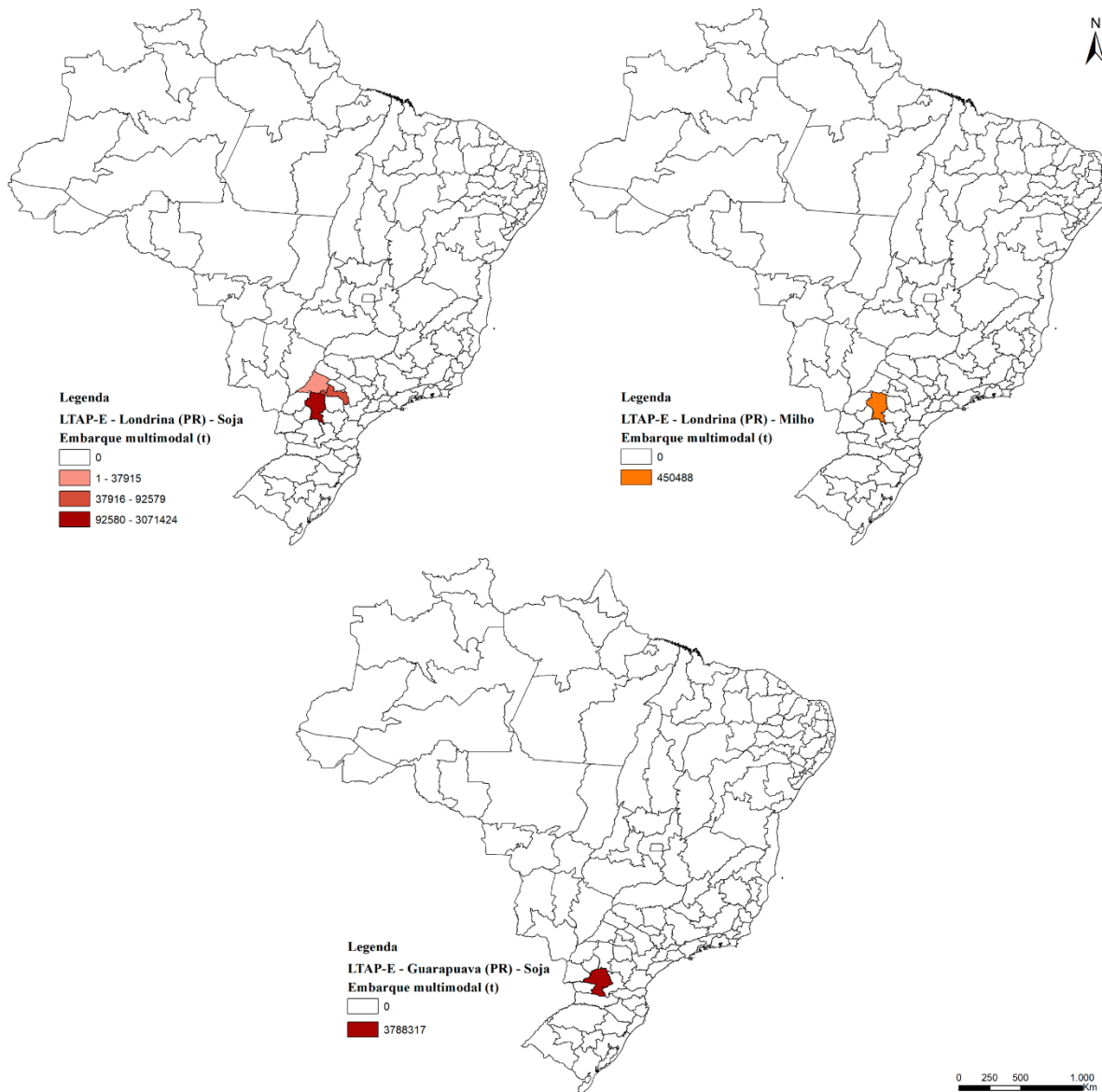
Em Minas Gerais, a capacidade de todo estado também não foi igualada no cenário *LTAP-E*, com alocação de 5,204 milhões de toneladas frente a 11,128 milhões de capacidade, entretanto o terminal de Santa Luzia (MG) apresentou grande aumento na utilização máxima, com alocação de 2,181 milhões de toneladas, retirando movimentação potencial em Uberaba (MG) que teve utilização de apenas 4% da capacidade. O terminal de Araguari (MG), que apresenta maior capacidade de captação nos cenários *RTAP* e *ATAP*, tem como área de influência principal as principais mesorregiões produtoras do estado de Goiás.

Figura 36 - Volume embarcado no terminal de Porto Velho (RO) nos cenários *RTAP*, *ATAP* e *LTAP-E* para soja e milho por mesorregião



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

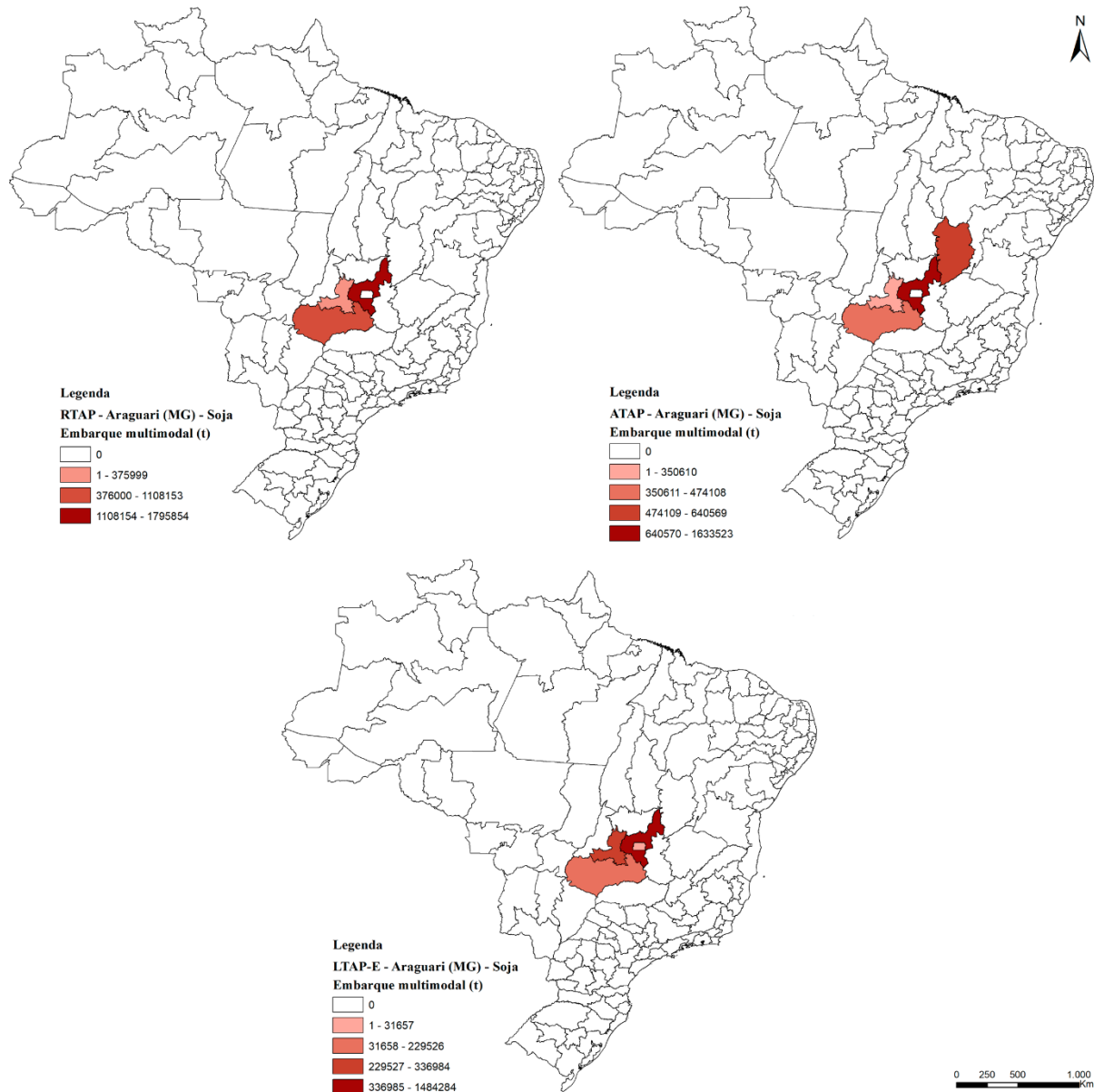
Figura 37 - Volume embarcado no terminal de Londrina (PR) para soja e milho e em Guarapuava (PR) para soja no cenário *LTAP-E* por mesorregião



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

A Figura 38 apresenta a área de influência do terminal mineiro para soja nos cenários RTAP, ATAP e LTAP. Em ATAP, a área de influência se estende ao estado da Bahia, mas a principal área em ambos estados é o estado de Goiás, principalmente as mesorregiões Leste Goiano, Centro Goiano e Sul Goiano. Para o milho, nos três cenários a área de influência é exclusiva para a mesorregião Sul Goiano.

Figura 38 - Volume embarcado no terminal de Araguari (MG) nos cenários RTAP, ATAP e LTAP-E para soja por mesorregião

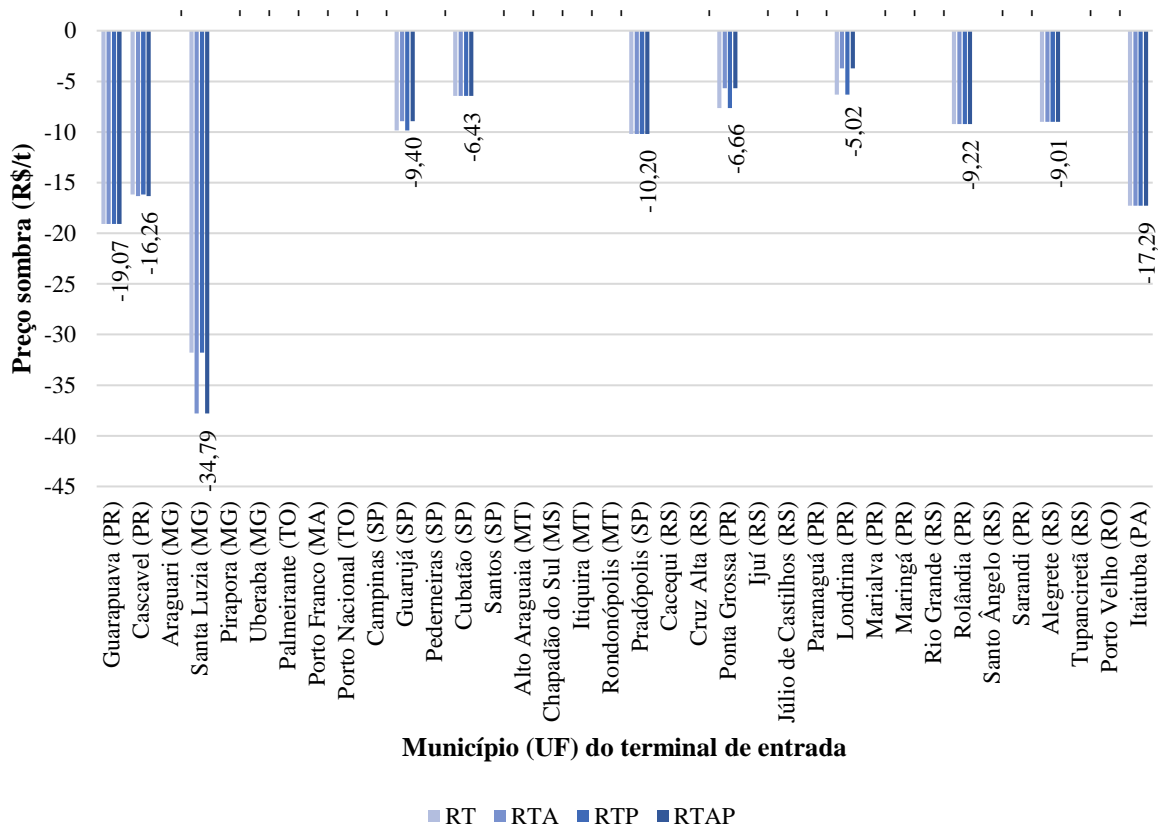


Fonte Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

Ao analisar o impacto do aumento ou redução na capacidade operacional dos terminais através das informações marginais dos resultados obtidos nos cenários construídos a luz da programação linear, como é o caso dos cenários de reprodução, a Figura 39 apresenta o preço-sombra relacionado à capacidade de cada terminal de entrada para o transporte multimodal, em que está rotulada a média dos cenários considerados. O preço-sombra é zero caso a capacidade determinada não seja atingida e tem valor negativo quando a capacidade é um limitante que prejudica o resultado da função objetivo do problema de minimização. Como a

expressão referente a capacidade operacional dos terminais de embarque multimodal é uma inequação que apresenta o limite máximo a ser embarcado, não uma igualdade, não há preços sombra com valores positivos, diferente do que foi visto na seção 4.3.

Figura 39 - Preço sombra de cada terminal de entrada para cada um dos cenários de reprodução (R\$/t)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

Assim, é possível observar que o impacto da limitação de capacidade operacional do terminal de Santa Luzia (MG) é de R\$ 34,79/t, ou seja, em uma condição *ceteris paribus*, o aumento de uma tonelada adicional na capacidade operacional do terminal paraense acarretaria uma redução média de R\$ 34,79 no custo total otimizado, sem alterar a rede otimizada. Os terminais paranaenses de Guarapuava (PR), Cascavel (PR), Rolândia (PR) e Londrina (PR) têm preço-sombra entre -R\$ 19,07/t e -R\$ 5,02/t, demonstrando a importância do aumento da capacidade operacional no Paraná como forma de reduzir o custo logístico total.

O terminal com maior capacidade dentre os citados e que ainda apresenta ganhos com o aumento dessa capacidade é o terminal de Miritituba, em Itaituba (PA). Mais uma vez, é possível afirmar que o aumento na capacidade de embarque nesse terminal resulta em reduções nos custos logísticos totais. Nos cenários de reprodução o preço sombra foi de -R\$ 17,29/t, o

que representa grandes possibilidades de utilização desse terminal como forma de aprimoração da malha logística nacional.

4.6 CENÁRIOS COM OBRIGATORIEDADE NA PASSAGEM POR ARMAZÉNS

Os cenários *RTAP-AO* e *ATAP-AO* foram criados para ser possível analisar a influência da necessidade de se realizar a movimentação de soja e milho a unidades armazenadoras antes de se realizar o transporte com direção aos destinos tendo como molde o cenário de reprodução com todos os custos e o cenário aberto, respectivamente. Nestes cenários as variáveis de decisão *VRODO* e *VMULT* que caracterizam as movimentações rodoviárias e multimodais a partir das regiões produtoras não são consideradas na estrutura de modelagem.

Como já apresentado na Figura 20, Tabela 9 e Tabela 10, os custos logísticos totais, volume movimentado total e custos totais de armazenagem são maiores nos cenários com passagem obrigatória nas unidades armazenadoras frente aos respectivos cenários sem essa obrigatoriedade (*RTAP* e *ATAP*). Isso se dá pela obrigatoriedade da passagem em mais um elo para que o sistema seja completo, não havendo a interação direta entre as regiões produtoras e os destinos.

Na Figura 40 tem-se a disposição mensal das movimentações e estoque de soja e milho por variável de decisão no cenário *RTAP-AO*. Nota-se a presença de apenas três variáveis de decisão relacionadas as movimentações e a grande movimentação aos armazéns (*VRODOOA*) nos meses de colheita de soja e milho.

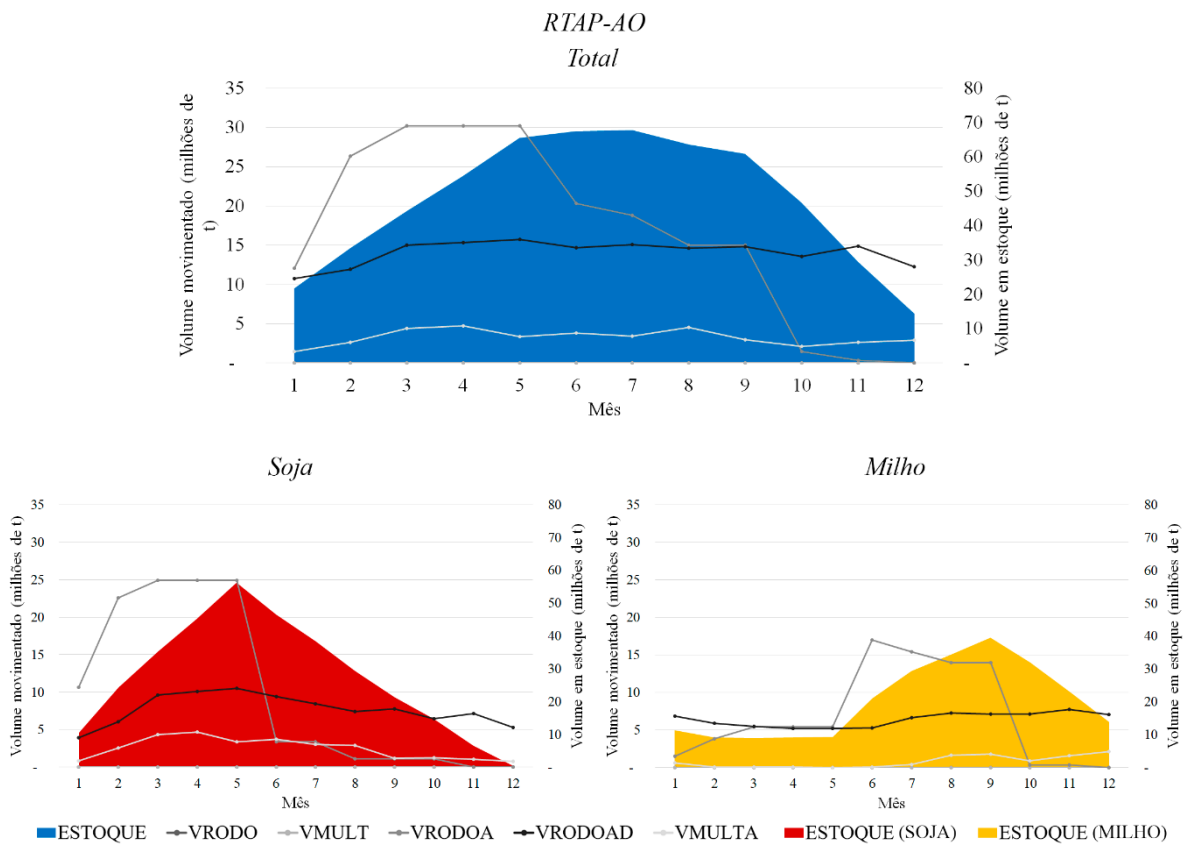
Comparando com a movimentação mensal no cenário *RTAP* apresentada anteriormente na Figura 21 e na Figura 22, observa-se o aumento nas movimentações totais e no estoque de cada mês para ambos os produtos, pontos que, como foi elucidado anteriormente, contribuíram para o grande aumento nos custos logísticos totais dos cenários com obrigatoriedade de passagem por unidades armazenadoras.

Fazendo a mesma análise para o cenário *ATAP-AO* (Figura 41) é o observado a mesma condição de maior movimentação com direção aos armazéns e conseqüente maior estoque médio e máximo mensal frente ao cenário par sem a obrigatoriedade de passagem por armazéns (*ATAP*), entretanto em volumes inferiores ao cenário *RTAP-AO*, possíveis dado a maior liberdade atribuída as variáveis de decisão no modelo proposto para o cenário.

Diferentemente dos cenários sem a obrigatoriedade da entrada nas unidades armazenadoras, a movimentação rodoviária (VRODOAD) e multimodal (VMULTA) nos cenários *RTAP-AO* e *ATAP-AO* ocorrem de forma mais linear, sem estarem sujeitas a fortes oscilações nos meses de colheita.

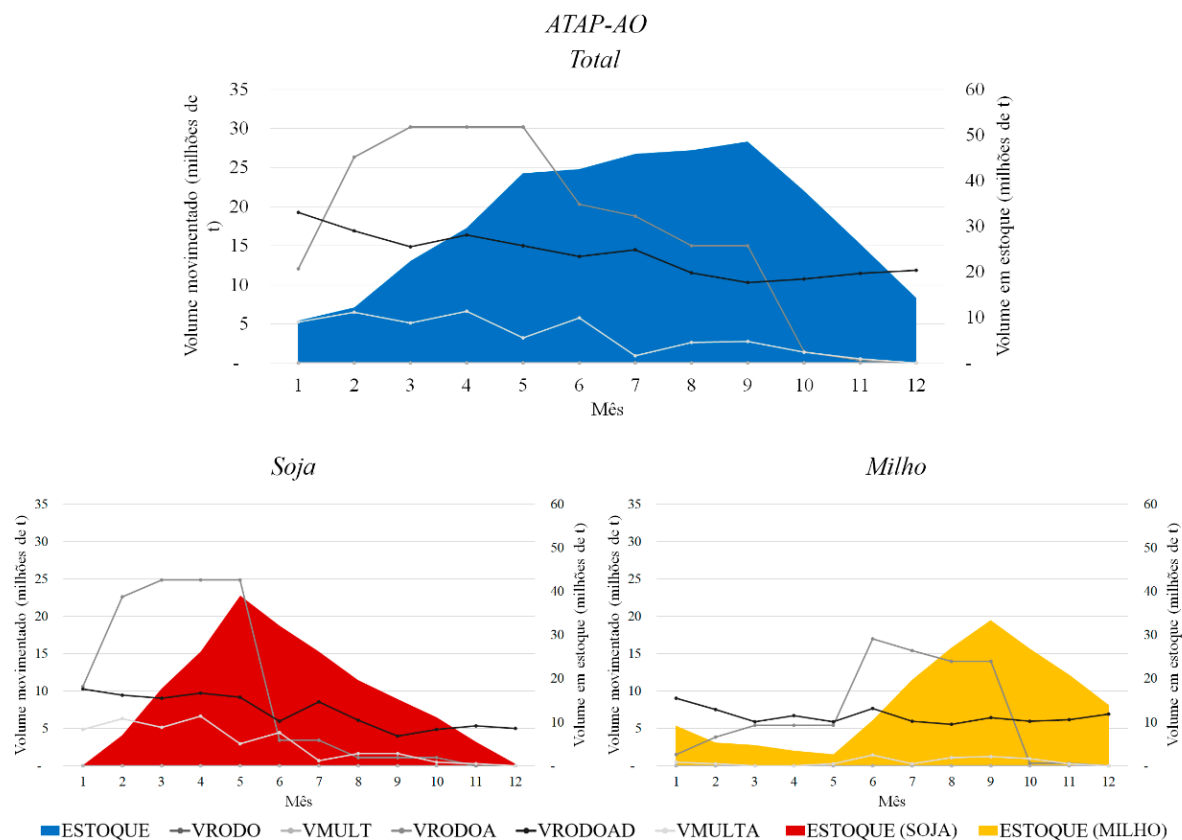
Isso ocorre pelo fato de que a entrada nos armazéns reivindica o pagamento do componente fixo do custo de armazenagem que é o mais relevante na composição desses custos do que o componente variável. Uma vez que o pagamento desse custo é necessário, o impacto de se permanecer por mais tempo no armazém é menor em termos de custos totais da solução e da rede total, assim, o escoamento se torna menos dependente das oscilações correspondentes aos fretes, fazendo com que as movimentações mensais sejam menos variadas.

Figura 40 - Movimentações por variável de decisão e volume em estoque por mês para o cenário de reprodução com obrigatoriedade de passagem nos armazéns (*RTAP-AO*) (em milhões de toneladas)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

Figura 41 - Movimentações por variável de decisão e volume em estoque por mês para o cenário aberto com obrigatoriedade de passagem nos armazéns (ATAP-AO) (em milhões de toneladas)

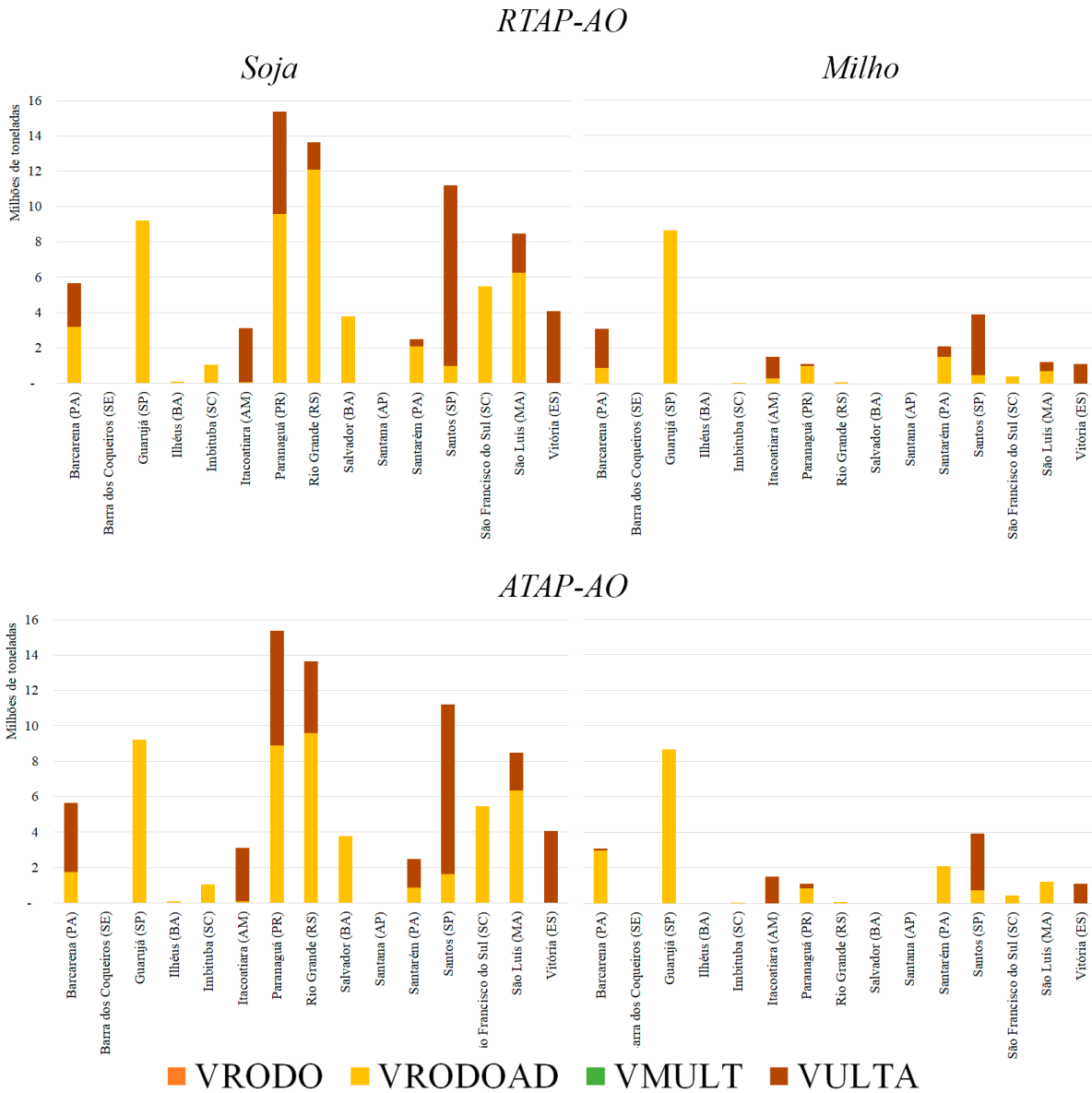


Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

Na Figura 42 tem-se a disposição das variáveis de decisão para as movimentações com destino a exportação em ambos os cenários com obrigatoriedade na passagem por armazéns de transbordo. Destaca-se, mais uma vez, a presença de apenas duas variáveis de decisão, VRODOAD e VMULTA, que correspondem as movimentações originadas nas unidades armazenadoras. Novamente, o volume total enviado para cada porto é igual em ambos os cenários por determinação parametrizada no modelo e as diferenças se dão quanto a utilização da multimodalidade em cada corredor de exportação.

As movimentações multimodais totais são inferiores nos cenários com obrigatoriedade de passagem por armazéns frente a seus pares. O volume multimodal total em *RTAP-AO* é de 38,922 milhões de toneladas frente 43,788 milhões em *RTAP*. Em *ATAP-AO*, o total movimentado por via multimodal é de 40,984 milhões de toneladas frente a 42,677 em *ATAP*. De forma compensativa, o volume rodoviário com direção as unidades de destino é maior contribuindo para o aumento dos custos totais.

Figura 42 - Disposição das variáveis de decisão que caracterizam as movimentações para os destinos de exportação nos cenários RTAP-AO e ATAP-AO



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

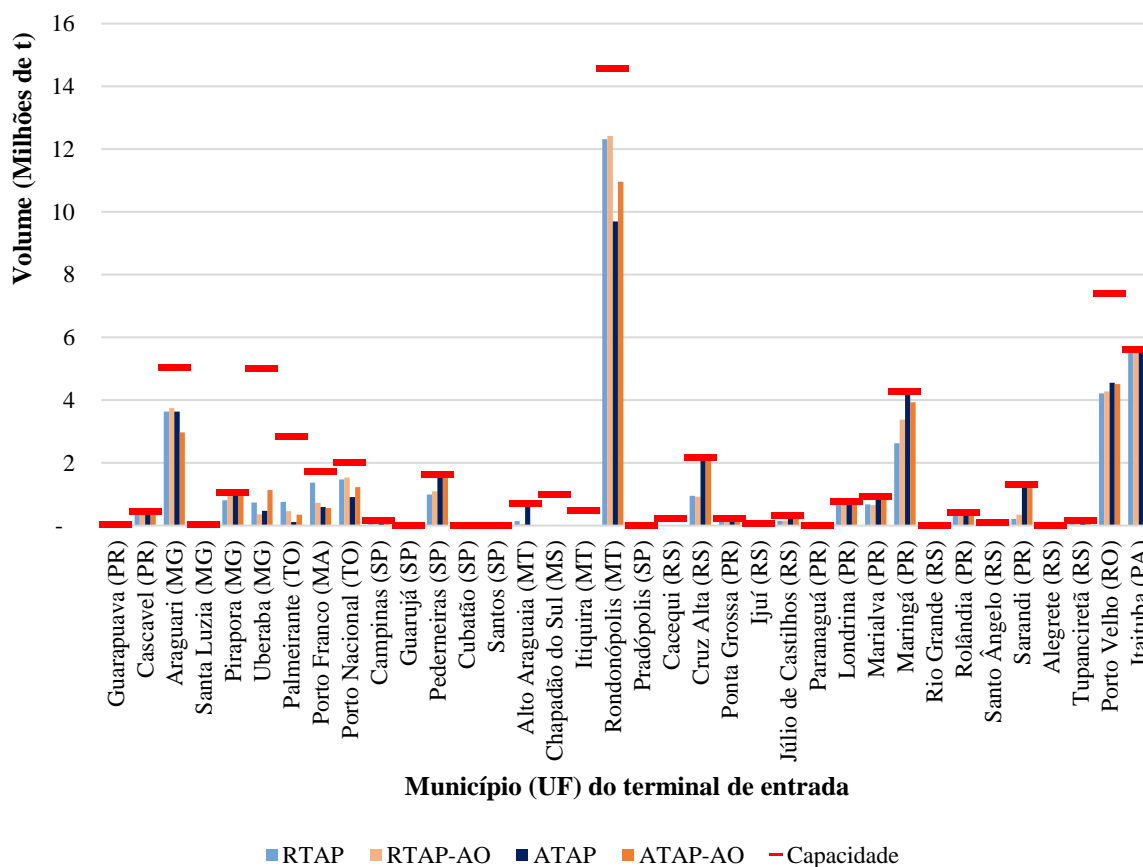
A movimentação multimodal para Santos (SP) continua priorizando o uso do terminal hidroviário de Rondonópolis (MT). Entretanto, considerando todos os terminais que multimodais com destino ao porto paulista, o volume destinado no cenário RTAP-AO é 6,65% menor para soja e 8,82% para o milho que em RTAP e a diferença e ATAP-AO é de -11,9% para soja e aumento de 5,85% para o milho frente o cenário ATAP.

Quanto aos envios de Miritituba, toda a capacidade do terminal em Itaituba (PA) é atingida em ambos os cenários, entretanto há alterações quanto ao porto de destino da carga

embarcada, sendo que em *ATAP-AO* há movimentação de 1,608 milhões de toneladas embarcadas no terminal de Miritituba tendo como destino Santarém (PA) e em *ATAP* a totalidade dos embarques nesse terminal foi alocado para Barcarena (PA).

De forma análoga, considerando ambos os produtos e apenas os embarques multimodais nos cenários *RTAP* e *ATAP* comparados com os cenários *RTAP-AO* e *ATAP-AO*, tem-se a Figura 43. Sendo possível observar o aumento na utilização total de Rondonópolis (MT) em ambos os cenários com obrigatoriedade do uso da armazenagem frente aos pares. Os terminais da Ferrovia Norte Sul – Tramo Norte apresentam comportamento distinto nos cenários com obrigatoriedade de passagem por armazéns, enquanto Porto Nacional (TO) aumenta a captação de soja e milho, Porto Franco (MA) e Palmeirante (TO) reduzem o volume captado. Em todo caso, esses terminais não captam o volume observado em 2018 definido como capacidade.

Figura 43 - Volume embarcado e capacidade de cada terminal de entrada para os cenários *RTAP*, *RTAP-AO*, *ATAP* e *ATAP-AO*

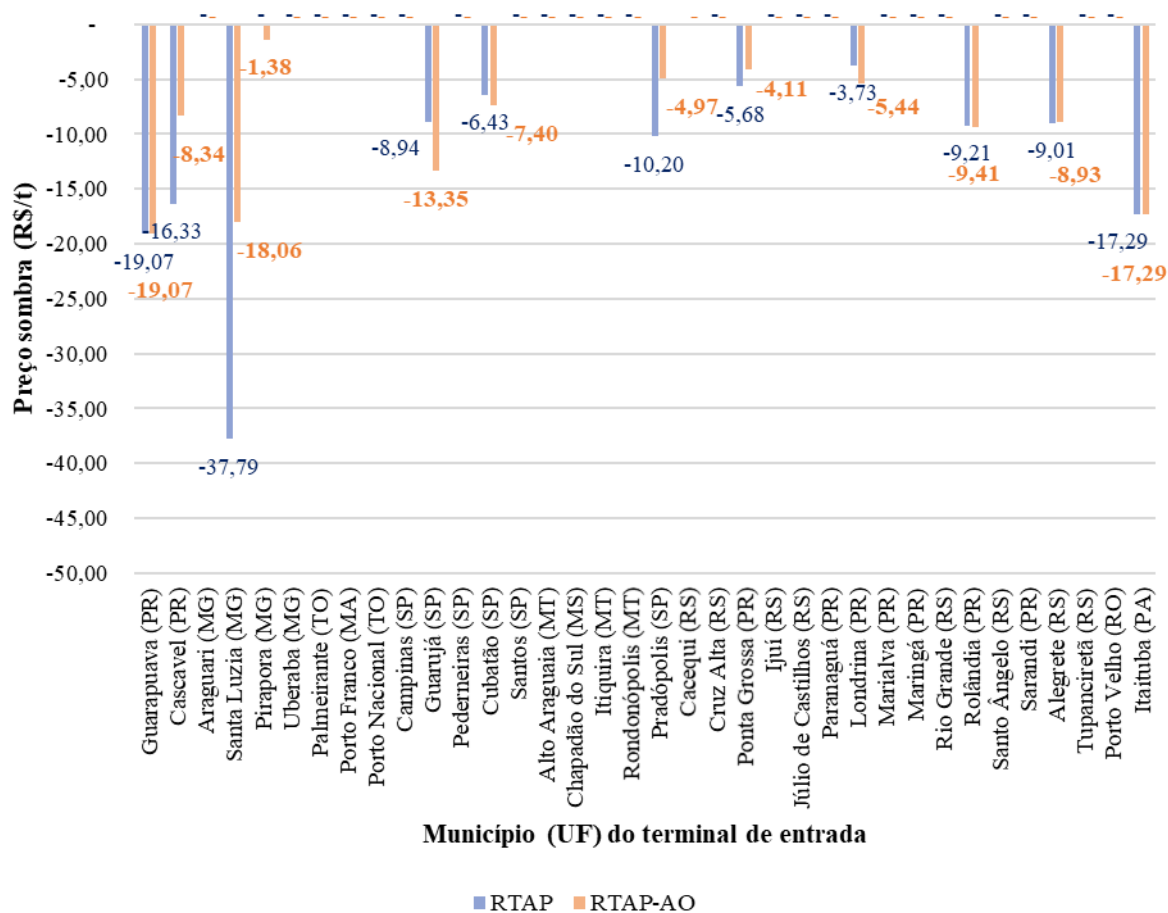


Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

Quanto aos valores marginais (Figura 44), houve pequenas alterações para alguns terminais. Em Itaituba (PA), o valor continuou de R\$ 17,09/t e o valor de Santa Luzia (MG) passou de R\$ 37,79/t e R\$ 18,06/t. No Paraná, os mesmos terminais já listados mantiveram a lotação da capacidade operacional, conseqüentemente mantendo preços sombra negativos como possibilidade de melhoria no valor de custo otimizado da função objetivo.

O único terminal que não foi completamente alocado nos cenários sem necessidade expressa de passagem pelas unidades armazenadoras foi o terminal de Pirapora (MG) que apresentou preço sombra de -R\$ 1,38/t.

Figura 44 - Preço sombra de cada terminal de entrada para os cenários *RTAP-AO* e *RTAP* (R\$/t)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

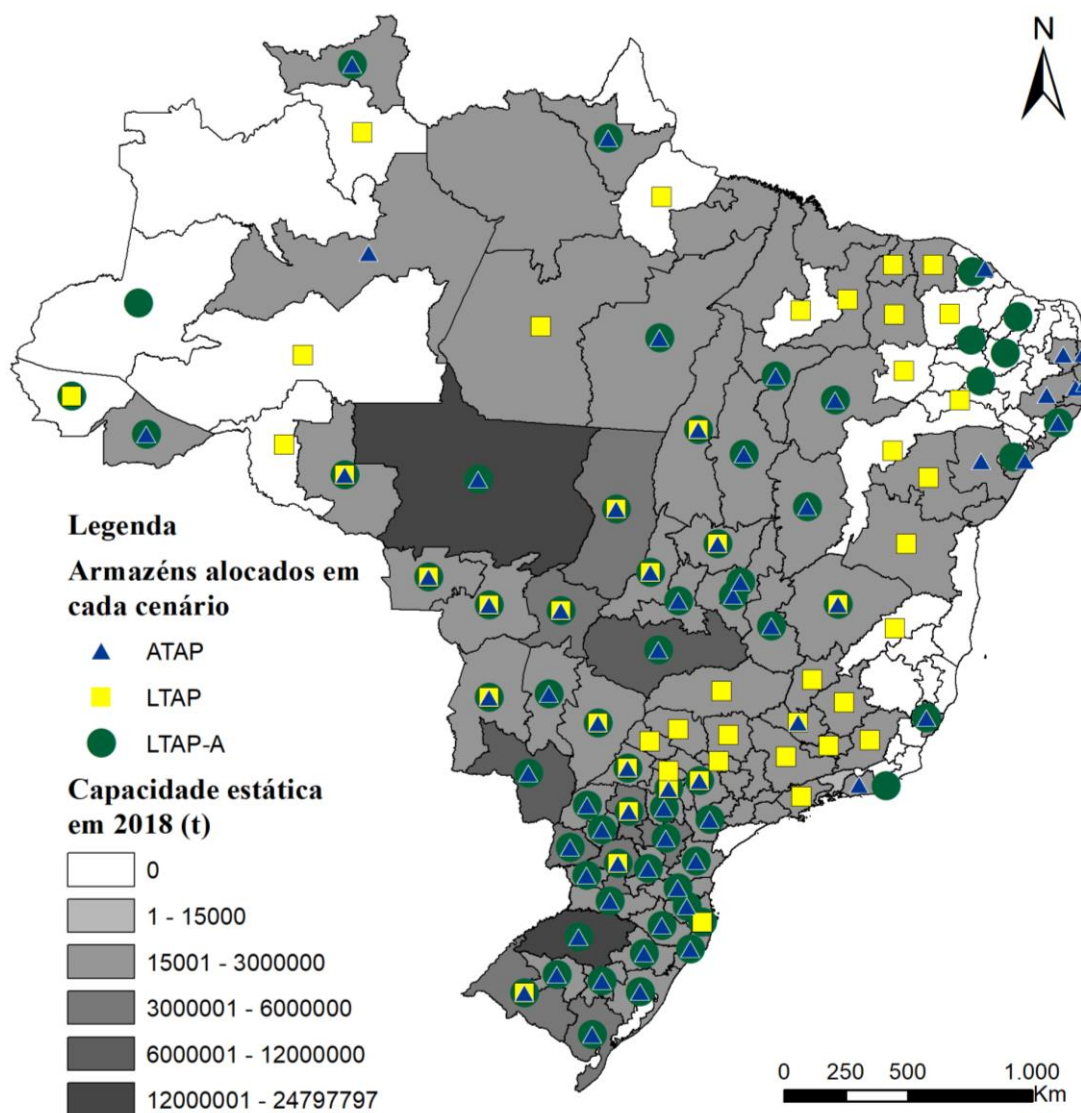
4.7 ANÁLISE LOCACIONAL PARA ARMAZÉNS GRANELEIROS

A Figura 45 apresenta a alocação de armazéns por mesorregião nos cenários *ATAP*, *LTAP* e *LTAP-A*, além da capacidade estática declarada em 2018 (IBGE, 2019b). No cenário *RTAP*, todas as 96 mesorregiões que apresentam capacidade estática superior a zero foram utilizadas.

Em todos os cenários posteriores, a utilização de um armazém em uma determinada região estava condicionada a variável binária y que tomava valor 1 caso uma unidade armazenadora deveria ser considerada na mesorregião e 0 caso contrário. Assim, em *ATAP*, o número de mesorregiões com armazéns alocados foi 66, em *LTAP*, 49 e em *LTAP-A*, 65.

No Mato Grosso, a mesorregião com maior produção e maior capacidade estática, Norte Mato-grossense, não teve alocação de armazéns no cenário *LTAP*, sendo que sua produção foi totalmente enviada para o mercado interno do próprio estado logo após a realização da colheita, o que mostra inconsistência do cenário *LTAP* com o padrão do mercado de grãos.

Figura 45 - Alocação de armazéns por mesorregião nos cenários *ATAP*, *LTAP* e *LTAP-A* e capacidade estática em 2018



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos e IBGE (2019b)

Assim, é observado que os cenários *ATAP* e *LTAP-A* convergiram para a localização dos armazéns nas principais regiões produtoras do país, havendo divergência na região Nordeste, sendo que em *ATAP* as regiões armazenadoras estiveram nas regiões costeiras e em *LTAP-A*, pela liberdade na alocação em qualquer mesorregião brasileira, as regiões armazenadoras do Nordeste foram alocadas à oeste dos portos, próximo as regiões sertanejas.

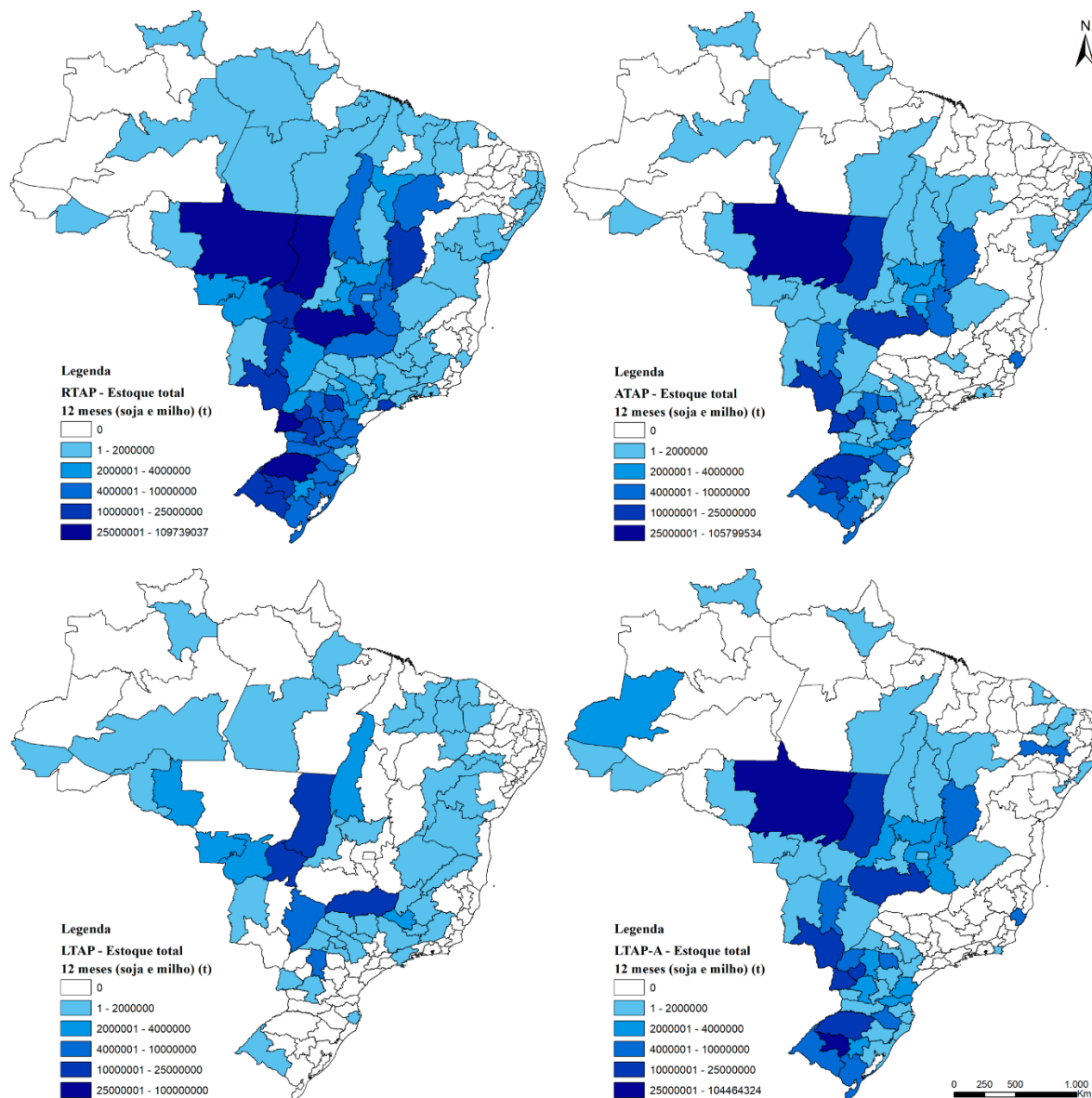
O estado de Minas Gerais, não teve alocação de armazéns em grande parte de seu território, diferenciando da condição atual vista no país. Além disso, no estado de São Paulo, as alocações foram priorizadas nas regiões a sul e oeste, próximas aos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul.

A Figura 46 apresenta a soma dos estoques mensais para o cenário de reprodução com todos os custos (*RTAP*), aberto (*ATAP*), *LTAP* e *LTAP-A* (cenário com capacidade estática ilimitada em todo o território nacional).

O cenário *LTAP*, mais uma vez, não apresenta uma boa comparação a respeito da armazenagem por apresentar resultados dificilmente atingíveis no ponto de vista prático e operacional para a cadeia de soja e milho.

Assim, nos três cenários restantes, há uma convergência quanto ao volume de estoque total que foi observado em cada mesorregião, principalmente ao se comparar *ATAP* com *LTAP-A*. Essa proximidade nos valores observados sugerem a discussão de que, do ponto de vista de redução de custos e uma visão geral do mercado de soja e grãos no Brasil, há possibilidade de realizar a redução dos custos totais sem haver grande alteração quanto a capacidade estática, entretanto isso difere do que é observado quando o objeto de estudos é um agente específico e a ótica utilizada é a de maximização da margem ou do lucro deste agente, sendo que nesse caso, a opção por armazenar se apresenta como uma forma de aumentar a lucratividade do produtor.

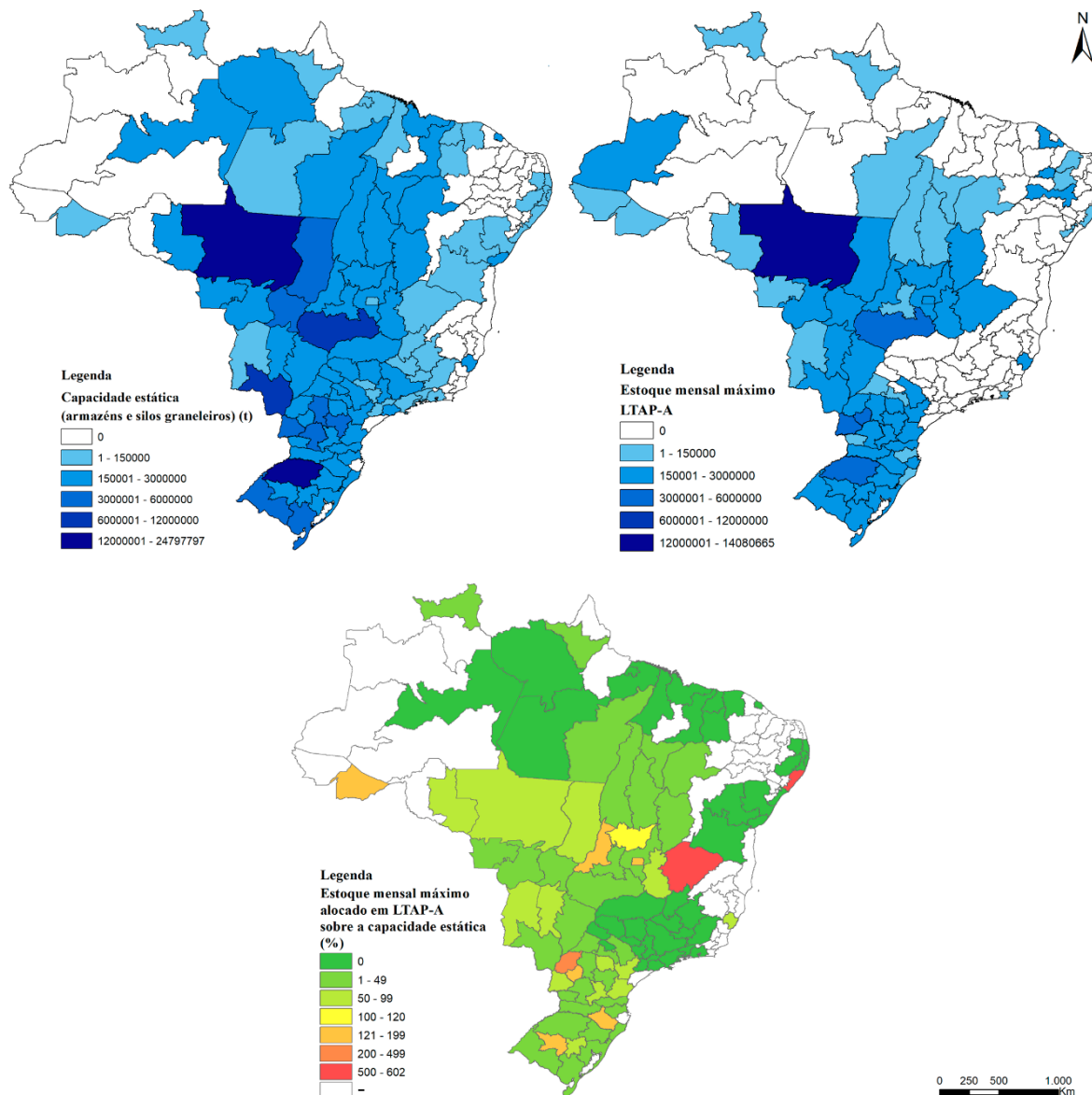
Figura 46 - Estoque total nos doze meses de análise para os cenários *RTAP*, *ATAP*, *LTAP* e *LTAP-A* por mesorregião em toneladas



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

A Figura 47 traz a relação entre o estoque máximo mensal em *LTAP-A* (que pode ser interpretado como a capacidade estática necessária para que a movimentação do ano de análise atinja o menor valor de custo logístico total possível sem ser prejudicado pelos limites de capacidade de armazenagem) e a capacidade estática efetiva observada em 2018 e utilizada como parâmetro nos cenários com capacidade de armazenagem limitada, uma vez que o volume total em estoque nos 12 meses não pode ser comparado com a capacidade estática de apenas um mês.

Figura 47 - Capacidade estática (t), estoque máximo mensal em *LTAP-A* (t) e relação entre estoque máximo em *LTAP-A* e capacidade estática (%)



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

Assim, é possível observar uma grande convergência na utilização máxima mensal e capacidade estática frente a capacidade existente no país no mesmo período de análise. As principais mesorregiões em termos de capacidade estática são Norte Mato-grossense, Noroeste Rio-grandense e Sul Goiano, sendo que nenhuma delas apresenta utilização total no cenário *LTAP-A*.

Os estoques máximos mensais utilizados em todos os estados da região Sul foram menores em *LTAP-A* do que o considerado como parâmetro de capacidade. A região que, tradicionalmente, apresenta a melhor relação entre produção e capacidade estática, apresentou

menor alocação dado que nos cenário com maior liberdade (*LTAP* e *LTAP-A*), as movimentações para exportação priorizaram os envios de soja e milho localizados nas unidades produtoras e armazenadoras da região sul, principalmente no Paraná e Rio Grande do Sul, pelo fato de que os portos localizados nessas regiões apresentam grande capacidade operacional e a distância média entre as unidades produtivas e os portos e terminais é menor.

Um total de 20 mesorregiões apresentou volume máximo mensal alocado em *LTAP-A* superior a capacidade estática, sendo que dez não apresentavam capacidade positiva de armazenagem. Destas, o destaque é para a mesorregião Sertão Pernambucano que apresentou potencial para implementação de infraestrutura de armazenagem com capacidade estática de quase 1 milhão de toneladas, vide Tabela 11.

Tabela 11 - Mesorregiões com estoque mensal máximo superior a 100% da capacidade estática ou que apresentam alocação em *LTAP-A* tendo capacidade estática nula

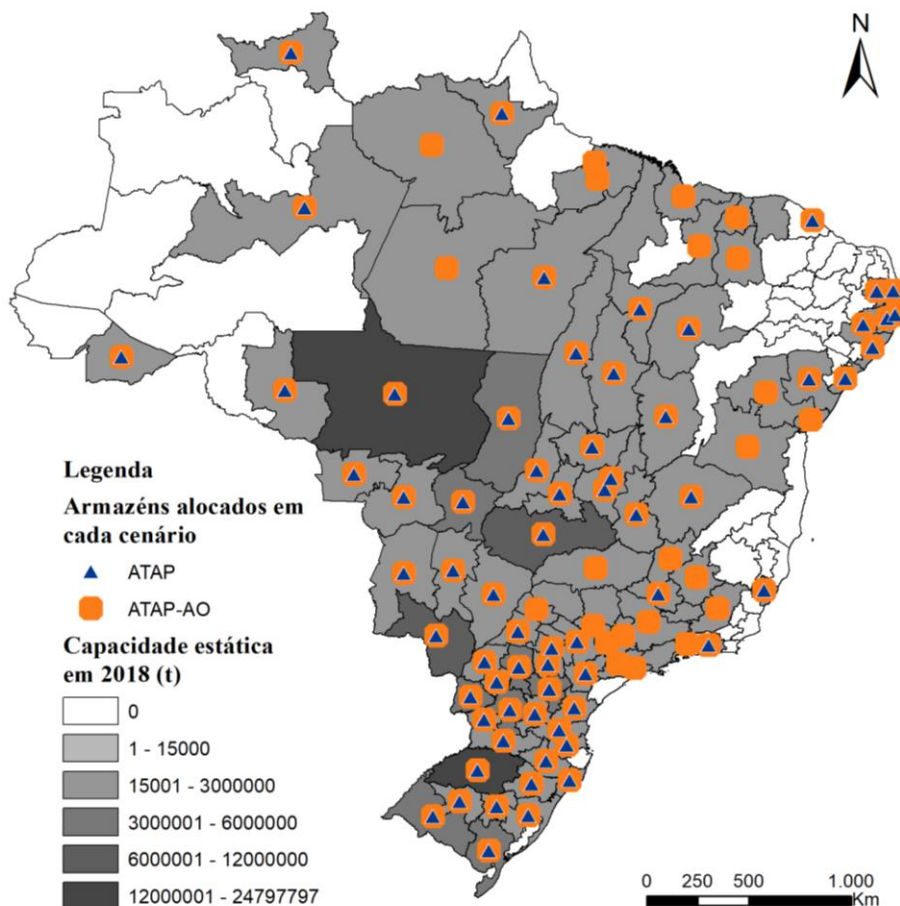
Mesorregião	UF	Capacidade estática (a) (t)	Estoque mensal máximo em <i>LTAP-A</i> (b) (t)	(b) - (a) (t)	(b) / (a) (%)
Agreste Sergipano	SE	0,00	41.410,00	41.410,00	-
Baixadas	RJ	0,00	119.376,00	119.376,00	-
Centro-Sul Cearense	CE	0,00	222.024,00	222.024,00	-
Grande Florianópolis	SC	0,00	205.243,00	205.243,00	-
Norte Cearense	CE	0,00	416.563,00	416.563,00	-
Oeste Potiguar	RN	0,00	44.696,00	44.696,00	-
Sertão Paraibano	PB	0,00	111.375,00	111.375,00	-
Sertão Pernambucano	PE	0,00	933.818,00	933.818,00	-
Vale Do Juruá	AC	0,00	1.408,00	1.408,00	-
Sudoeste Amazonense	AM	0,00	365.086,33	365.086,33	-
Norte De Minas	MG	48.280,00	290.545,40	242.265,40	601,79
Leste Alagoano	AL	23.500,00	129.511,00	106.011,00	551,11
Noroeste Paranaense	PR	569.692,00	2.188.173,50	1.618.481,50	384,1
Noroeste Goiano	GO	178.600,00	256.311,00	77.711,00	143,51
Vale Do Acre	AC	22.690,00	30.962,00	8.272,00	136,46
Distrito Federal	DF	137.460,00	183.523,34	46.063,34	133,51
Serrana	SC	721.423,00	923.490,00	202.067,00	128,01
Centro Ocidental Rio-Grandense	RS	2.123.513,00	2.671.038,38	547.525,38	125,78
Centro Ocidental Paranaense	PR	2.960.234,00	3.631.995,00	671.761,00	122,69
Norte Goiano	GO	284.570,00	312.507,00	27.937,00	109,82

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

Das dez mesorregiões que tiveram alocação de estoque máximo superior a 100% da capacidade, apenas as mesorregiões Noroeste Paranaense, Serrana, Centro Ocidental Rio-grandense e Centro Ocidental Paranaense têm capacidade estática superior a 500.000 toneladas. Entretanto, dessas, apenas a mesorregião Noroeste Paranaense apresenta diferença superior a 200% da capacidade estática, com volume máximo alocado de 2,188 milhões de toneladas em um mês. De fato, a região Nordeste é a mais carente em infraestrutura de armazenagem para grãos, mesmo que a produção de soja e milho na região é baixa, salvo na porção oeste da Bahia, a implementação de unidades armazenadoras na região contribui para a minimização do custo logístico total para o país.

Fazendo a mesma análise de alocação de armazéns nas mesorregiões para o cenário aberto com obrigatoriedade na passagem por unidades armazenadoras (*ATAP-AO*) - Figura 48 -, um número maior de armazéns foi alocado, 89 frente a 66 de *ATAP*.

Figura 48 - Alocação de armazéns por mesorregião nos cenários *ATAP* e *ATAP-AO* e capacidade estática em 2018

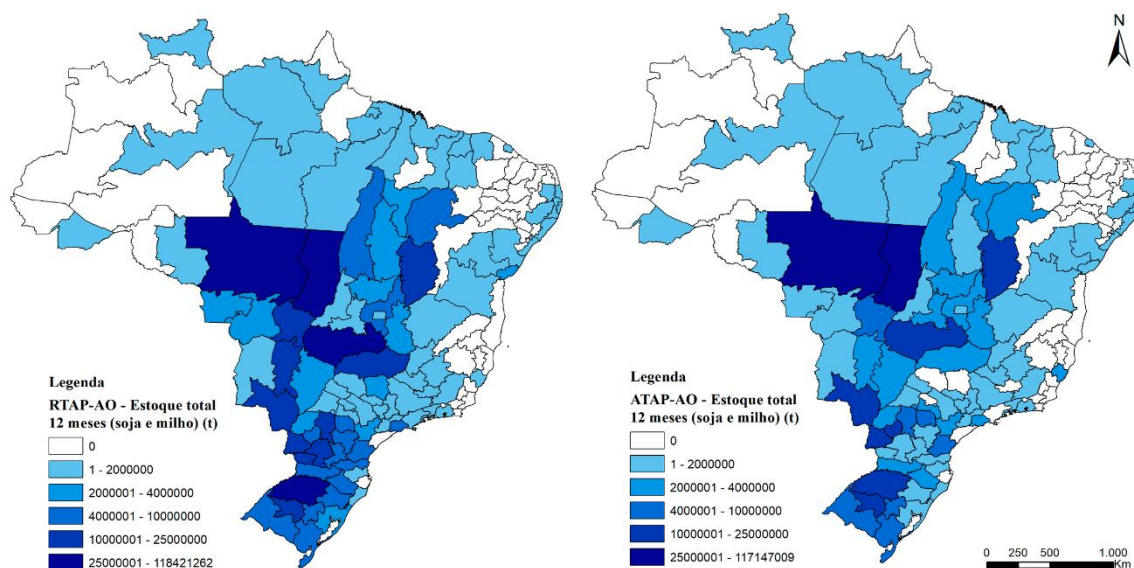


Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos e IBGE (2019b)

Dado a necessidade expressa da entrada em uma unidade armazenadora, era de se esperar que um maior número de armazéns fosse preciso para reduzir o custo logístico total, mas ainda assim o número de mesorregiões foi inferior ao total de mesorregiões com capacidade estática para armazenagem de produtos graneleiros.

Da mesma forma, os estoques totais nesses cenários foram superiores aos dos cenários em que a decisão quanto a passagem em uma unidade armazenadora é intrínseca ao modelo, como já discutido, sendo possível ser observado na Figura 49 de forma desagregada por mesorregião.

Figura 49 - Estoque total nos doze meses de análise para os cenários *RTAP-AO* e *ATAP-AO* por mesorregião em toneladas



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados obtidos

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo “desenvolver e aplicar um modelo matemático de otimização com o fito de analisar e propor ações para otimizar a logística de soja e milho no Brasil e recomendar as configurações da malha logística que poderiam promover o escoamento dessas produções da maneira mais econômica.”. Assim, inicialmente, tem-se que a relação de custo total para as atividades logísticas relacionadas a movimentação de soja e milho no território brasileiro tem contribuição majoritária dos custos de transporte, sendo que o cenário de reprodução com todos os custos inclusos (*RTAP*), 74,04% do custo total é de responsabilidade das atividades de transporte, sendo 75,26% no cenário aberto (*ATAP*) e 75,36% em *LTAP*. Os custos provenientes da atividade de armazenagem são a segunda maior contribuição, sendo 13,59% em *RTAP*, 10,65% em *ATAP* e 3,84% em *LTAP*. A última parcela se diz respeito aos custos da atividade portuária, sendo 12,37%, 14,10% e 20,80% em cada cenário respectivamente.

No cenário *LTAP-E*, a capacidade ilimitada dos terminais de transbordo apresentou economia de R\$ 320,787 milhões (1,11%) frente o cenário *ATAP* e, no cenário *LTAP-A* a economia foi de R\$ 153,134 milhões (0,53%) em comparação com o cenário *ATAP*, derivada da condição de capacidade estática ilimitada em todos os polos armazenadores. Os cenários expostos apresentaram pequenas diferenças frente as possibilidades atuais, mas representativas em termos de redução de custos absolutos do sistema logístico agroindustrial.

A alocação ótima de armazéns nas localidades com melhor apoio ao mercado logístico de grãos trouxe possibilidades de redução nos custos totais com a utilização de menor capacidade estática do que a atual no país, apenas pela realocação dos armazéns em localidades ótimas, sendo, também, apresentado as localidades onde há possibilidades de investimento dado a captação superior a capacidade estática vigente.

Sem distinção entre incentivos públicos e privados e condições particulares dos *players*, entende-se que em um mercado em que o custo logístico apresenta um papel importante, a experiência e decisões dos profissionais atuantes, baseadas nas ferramentas utilizadas amplamente e na experiência e aprendizado ao longo de toda expansão da atividade no país, bem como as soluções logísticas existentes na infraestrutura de transporte já favoreçam para que a rede ou matriz de escoamento de grãos atual seja próxima ao considerado ótimo.

Contudo, pequenas diferenças nos custos proporcionadas por novas soluções podem impactar de forma muito forte a cadeia de suprimentos, por se tratar da movimentação de grandes volumes por grandes distâncias.

Quanto às movimentações, nota-se que das soluções logísticas disponíveis a cada porto, houve grande utilização da multimodalidade em alguns casos e utilização nula em outros. Grande parte dos terminais de transbordo ferroviário localizados no estado do Paraná foram amplamente utilizados, com possibilidade de contribuir fortemente para redução nos custos totais com aumento na capacidade destes terminais, apresentando possibilidades para planejamento futuro.

Santos (SP) se destaca como um porto com grande presença de movimentação multimodal dado ao terminal de Rondonópolis (MT), entretanto a utilização deste terminal não foi a totalidade da capacidade observada no ano de análise, sendo sujeito a redução no volume captado caso a capacidade de outras soluções multimodais aumente, principalmente o terminal de Miritituba.

As movimentações desse terminal, localizado no município de Itaituba (PA), podem ser destinadas para os portos de Santarém (PA) e Barcarena (PA), tendo priorizado o último porto, que teve uma divisão bem definida entre movimentação rodoviária e multimodal no cenário *RTAP*, tendo apresentado aumento na utilização de Itaituba (PA) no cenário “aberto” (*ATAP*) frente ao cenário de reprodução com todos os custos (*RTAP*).

Esse terminal foi totalmente utilizado em todos os cenários, tendo capacidade de operação limitada pelo parâmetro considerado. Observou-se que a adição na capacidade operacional desse porto traria ganhos substanciais a redução de custos nos cenários de reprodução (*RT*, *RTA*, *RTP*, *RTAP*) com redução de R\$ 17,29 no custo total otimizado por tonelada adicional de capacidade de operação adicionada. No cenário *LTAP-E*, o potencial de captação do porto foi de 10,717 milhões de toneladas e em *LTAP*, 8,835 milhões de toneladas, confirmando a potencialidade de redução nos custos totais da rede logística para soja e milho com o aumento nos envios para o terminal paraense.

Em termos de escolhas mensais quanto às possibilidades de escoamento de soja e milho, observou que no cenário *ATAP* houve menor formação de estoque, contribuindo para a

redução de custos frente ao cenário *RTAP*, pela condição de menor liberdade oferecida as variáveis de decisão no cenário de reprodução.

Os cenários com obrigatoriedade na passagem por armazéns, *RTAP-AO* e *ATAP-AO*, trouxeram outro entendimento da rede logística de soja e milho, uma vez que muitos agentes do mercado não possuem infraestrutura de armazenagem localizadas na propriedade rural ou necessitam da contratação de mais uma atividade de transporte que conecte a região produtora com um armazém para que as atividades de preparo, secagem e pré-limpeza dos grãos aconteça para que o produto atenda as condições necessárias para poder ser comercializado.

Nesses cenários, houve grande aumento nos custos totais da rede frente aos cenários em que a decisão quanto ao envio para os armazéns ocorre de forma endógena no modelo, contudo, de modo geral, as movimentações rodoviárias e multimodais no elo de conexão aos destinos de exportação e consumo em *RTAP-AO* e *ATAP-AO* não apresentaram alterações distantes da alocação vista nos cenários *RTAP* e *ATAP*, de modo que a consideração de como formular a rede logística pode ser direcionada as particularidades das atividades e da cadeia de suprimentos do tomador de decisão.

Em *LTAP*, as escolhas do ponto de vista de minimização nos custos logísticos apresentaram a movimentação de soja logo após a colheita e menor formação de estoque de milho no início do segundo semestre com movimentação no último trimestre, aproveitando as reduções observadas nos fretes.

Entretanto, surge a primeira consideração a respeito do cenário *LTAP*, com liberdades nos parâmetros de demanda, capacidade operacional dos terminais de transbordo e capacidade estática de armazenagem: as condições apresentadas nesse cenário seguem premissas dificilmente atingíveis, tornando os resultados deste cenário pouco tangíveis, apesar de proporcionarem possibilidades de ensaios sobre as oportunidades existentes no mercado logístico agroindustrial brasileiro.

Para minimizar as suposições em *LTAP*, foram criados os cenários *LTAP-D*, *LTAP-E* e *LTAP-A* que simulam liberdades particulares mantendo o restante parametrizado como visto no cenário aberto. As liberdades se dão para a demanda de cada destino em cada mês (mantendo os volumes totais exportados e destinados ao consumo como parâmetros de igualdade),

capacidade operacional dos terminais de transbordo multimodal e capacidade estática de armazenagem, respectivamente.

Como elencado na introdução, este estudo buscou “confrontar as soluções logísticas atuais (corredores rodoviários, portos e terminais multimodais) em termos de custos totais e área de influência, definindo, portanto, as melhores possibilidades de movimentação de grãos para cada região produtora (mesorregião, estado ou região geográfica)”.

Os resultados apresentados para cada grandeza que são simuladas de forma ilimitada nos cenários comentados trouxeram uma visão artificial do mercado logístico de grãos brasileiro, continuando em linha com a situação existente, sem considerar a inclusão de novas infraestruturas como novos portos ou malhas multimodais, mas pela demonstração de possibilidades para melhoramentos com a manutenção da rede atual, tendo como premissas alterações na capacidade operacional dos terminais, capacidade estática ou nas possibilidades recorrentes para cada região ou corredor de exportação.

A estrutura de modelagem apresentada e os cenários de custos criados possibilitam a simulação do fluxo ótimo do mercado de soja e milho com frequência no país, de forma a entender melhores oportunidades, sendo uma ferramenta com potencial de utilização no mercado, pelos agentes que atuam no setor de logística do agronegócio e pela academia no sentido de projetar as informações para outros mercados e produtos.

A inclusão dos estoques de passagem (iniciais e finais) mantém a ideia de perpetuidade na utilização do modelo de análise proposto para o mercado logístico de soja e milho, sendo que, mesmo com a oferta e a demanda de consumo e exportação não sendo iguais, há possibilidade de tratamento de uma rede completa com restrições de igualdade com a utilização dos estoques de passagem.

As áreas de influência discutidas apresentam a visualização da logística de mínimo custo, proporcionando avaliações pelos agentes do mercado sobre a convergência das estratégias utilizadas frente a alocação resultante da modelagem proposta, ponderando pela proximidade do mesmo mercado com as premissas utilizadas em cada cenário.

Outro diferencial da modelagem apresentada está na visão global da logística de soja e milho, considerando um agente único conhecedor de todos os custos envolvidos no sistema como

tomador de decisão para toda a logística dos produtos. Essa condição não é replicada no mercado que, por sua vez, é composto de n agentes, com portes e poderes distintos, que muitas vezes desconhecem oportunidades em todas as possibilidades da rede ou enxergam e fazem uso de oportunidades pontuais ou não precificadas pelo mercado.

Outra premissa importante da modelagem de mínimo custo é dada pela condição de “tudo ou nada” vista na disposição das movimentações que é a consideração única do fator pecuniário para a tomada de decisão de alocação. Diferentemente do que acontece no mercado, e na ponderação de um agente quanto a mesma decisão, outros fatores e critérios são contabilizados para a tomada de decisão. Dentre eles estão: a necessidade de cumprimento de contratos estabelecidos nas unidades portuárias, fabris ou no transbordo; necessidade de venda em determinado período mesmo que os custos logísticos estejam relativamente altos, decisões internas sobre a comercialização, disponibilidade de armazenagem para o agente, disponibilidade das cotas de embarque nos terminais portuários, problemas operacionais endógenos e exógenos, entre outros.

Os preços que compõem os custos considerados (transporte, armazenagem e portuários) são tratados de forma discreta no modelo, não sofrendo alterações frente ao volume a eles direcionado, o que consiste em outra diferenciação com o mercado logístico atual, que por se assemelhar a um mercado perfeitamente competitivo dado a grandeza no número de agentes atuantes, tem uma relação direta e sensível entre volumes e preços em todos os elos logísticos. Além disso, por se tratar de médias de preços no mercado, outros *trade-offs* não são considerados, como a relação do valor do frete ou dos custos de armazenagem e portuários com o nível de serviço ou com o tempo que será empregado nas atividades.

Ademais, a armazenagem, além de representar um entreposto, é uma estratégia comercial, sujeita a inúmeros fatores que são controlados ou incontrolados pelo tomador de decisão. Como possibilidades futuras, entende-se a alternativa de análise do mesmo mercado pela perspectiva de margem do produtor somente na atividade logística, com a adição de informações a respeito dos preços de comercialização dos produtos considerados ou da margem do produtor em toda a cadeia, com a incorporação adicional dos custos de produção.

Este estudo busca também a obtenção de uma contribuição de cunho acadêmico no sentido de agregar a literatura existente a uma aplicação de técnicas de pesquisa operacional a sistemas

agroindustriais, que também poderá ser utilizada por agentes de mercado, apesar de todas as diferenças elencadas entre as premissas consideradas e as condições vistas no mercado logístico de grãos, as discussões apresentadas servem como provocações e pontos de análise por parte dos agentes de mercado, sendo facilmente utilizado como *benchmarking* para entender as diferenças entre as estratégias propostas e as executadas pelos agentes, entendendo possibilidades de redução de custos totais.

6. REFERÊNCIAS

ABEDI, A.; ZHU, W. An optimisation model for purchase, production and distribution in fish supply chain – a case study. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 12, p. 3451–3464, 18 jun. 2017.

ABIOVE. **ARQUIVOS COM PESQUISA DE CAPACIDADE INSTALADA**. Disponível em: <<https://abiove.org.br/estatisticas/>>. Acesso em: 10 dez. 2020.

AGUIAR, M.; HURST, E. Consumption versus expenditure. **Journal of Political Economy**, v. 113, n. 5, p. 919–948, 1 out. 2005.

AHUMADA, O.; VILLALOBOS, J. R. Application of planning models in the agri-food supply chain: A review. **European Journal of Operational Research**, v. 196, n. 1, p. 1–20, 1 jul. 2009.

AHUMADA, O.; VILLALOBOS, J. R. Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products. **International Journal of Production Economics**, v. 133, n. 2, p. 677–687, 2011.

ALAM, I. A.; HAERANI, T.; SINGAGERDA, F. S. Price determination model of world vegetable and petroleum. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 9, n. 5, p. 157–177, 2019.

ANTAQ. **Estatístico Aquaviário**. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/ANUARIO/>>. Acesso em: 21 maio. 2020.

ANTT. **Anuário do Setor Ferroviário**. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/ferrovias/arquivos/Anuario_Estatistico.html>. Acesso em: 29 maio. 2020a.

ANTT. **Política Nacional de Pisos Mínimos do Transporte Rodoviário de Cargas**. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/cargas/arquivos_old/Tabelas_de_Precos_Minimos_do_Transporte_Rodoviario_de_Cargas.html>. Acesso em: 28 maio. 2020b.

BEAMON, B. M. Supply chain design and analysis: Models and methods. **International Journal of Production Economics**, v. 55, n. 3, p. 281–294, 15 ago. 1998.

BOEHLJE, M. et al. **Strategic Issues in the Changing Agricultural Industry**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://agribusiness.purdue.edu/wp-content/uploads/2019/08/r-12-2003-boehlje-fulton-gray-nilsson.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

BRANCO, J. E. H.; CAIXETA-FILHO, J. V. **Estimativa de demanda de carga captável pela estrada de ferro Norte-Sul**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 14 dez. 2011.

BREVIK, E. et al. Optimisation of the broiler production supply chain. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 17, p. 5218–5237, 1 set. 2020.

BRULARD, N. et al. An integrated sizing and planning problem in designing diverse vegetable farming systems. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 4, p. 1018–1036, 16 fev. 2019.

CAIXETA-FILHO, J. V. **Pesquisa Operacional: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2015.

CASTRO, N. DE. Formação de preços no transporte de carga. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 33, n. 1, p. 167–189, 1 abr. 2003.

CEPEA. **INDICADOR DA SOJA ESALQ/BM&FBOVESPA - PARANAGUÁ**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/soja.aspx>>. Acesso em: 28 maio. 2020a.

CEPEA. **INDICADOR DO MILHO ESALQ/BM&FBOVESPA-Esalq/USP**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/milho.aspx>>. Acesso em: 28 maio. 2020b.

CEPEA; CNA. **PIB do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 21 maio. 2020.

CHAMBERS, M. J.; BAILEY, R. E. A Theory of Commodity Price Fluctuations. **Journal of Political Economy**, v. 104, n. 5, p. 924–957, out. 1996.

CHVATAL, V. **Linear programming**. New York: W. H. Freeman and Company, 1983.

CLAASSEN, G. D. H.; VAN BEEK, P. Planning and scheduling packaging lines in food industry. **European Journal of Operational Research**, v. 70, n. 2, p. 150–158, 1993.

CONAB. **Boletim da Safra de Grãos**. 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=20>>.

Acesso em: 3 ago. 2020.

CONAB. **Série Histórica da Armazenagem**. 2019a. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/armazenagem/serie-historica-da-armazenagem>>. Acesso em: 22 maio. 2020.

CONAB. **Boletim da Safra de Grãos**. 2019b. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10>>.

Acesso em: 3 ago. 2020.

CONAB. **Série Histórica das Safras**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 21 maio. 2020.

CSCMP. **CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary**. 2020. Disponível em: <https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx>.

Acesso em: 21 maio. 2020.

DANTZIG, G. B. **Linear programming and extensions**. Princeton: Princeton University Press, 1963.

DANTZIG, G. B. et al. Formulating and solving the network design problem by decomposition. **Transportation Research Part B**, v. 13, n. 1, p. 5–17, 1 mar. 1979.

DE KEIZER, M. et al. Logistics network design for perishable products with heterogeneous quality decay. **European Journal of Operational Research**, v. 262, n. 2, p. 535–549, 2017.

DU, X.; YU, C. L.; HAYES, D. J. Speculation and volatility spillover in the crude oil and agricultural commodity markets: A Bayesian analysis. **Energy Economics**, v. 33, n. 3, p. 497–503, maio 2011.

ESALQ-LOG. **Estimativa de Receita Adicional**. 2018. Disponível em: <<https://sifreca.esalq.usp.br/siarma>>. Acesso em: 28 maio. 2020.

ESALQ-LOG. **SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE FRETES**. 2020a Disponível em: <<https://sifreca.esalq.usp.br/>>. Acesso em: 21 maio. 2020.

ESALQ-LOG. **SIARMA - Tarifas Médias para a Armazenagem de Soja**. 2020b.

Disponível em: <<https://sifreca.esalq.usp.br/siarma>>. Acesso em: 22 maio. 2020.

ETEMADNIA, H. et al. Optimal wholesale facilities location within the fruit and vegetables supply chain with bimodal transportation options: An LP-MIP heuristic approach. **European Journal of Operational Research**, v. 244, n. 2, p. 648–661, 2015.

FGV IBRE. **IGP-M**. 2019. Disponível em: <<https://portalibre.fgv.br/estudos-e-pesquisas/indices-de-precos/igp>>. Acesso em: 27 maio. 2020.

FLEISCHMANN, B.; MEYR, H.; WAGNER, M. Advanced Planning. In: STADTLER, H.; KILGER, C.; MEYR, H. (Eds.). . **Supply Chain Management and Advanced Planning**. [s.l.] Springer Berlin Heidelberg, 2015. p. 71–95.

GAMEIRO, A. H. **Índices de preço para o transporte de cargas: o caso da soja a granel**. Piracicaba: Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo, 1 jul. 2003.

GAMEIRO, A. H.; CAIXETA-FILHO, J. V. Índices de preço para o transporte de cargas: O caso da soja. **Nova Economia**, v. 20, n. 1, p. 121–163, 2010.

GILBERT, C. L. How to Understand High Food Prices. **Journal of Agricultural Economics**, v. 61, n. 2, p. 398–425, 1 mar. 2010.

HIGGINS, A.; BEASHEL, G.; HARRISON, A. Scheduling of brand production and shipping within a sugar supply chain. **Journal of the Operational Research Society**, v. 57, n. 5, p. 490–498, 21 maio 2006.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal - PAM**. 2020a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 3 ago. 2020.

IBGE. **Pesquisa de Estoques**. 2020b. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/estoques/tabelas>>. Acesso em: 4 jun. 2020.

ILOS. **Custos Logísticos no Brasil**. Disponível em: <<https://www.ilos.com.br/web/analise-de-mercado/relatorios-de-pesquisa/custos-logisticos-no-brasil/>>. Acesso em: 21 maio. 2020.

JENA, S. D.; POGGI, M. Harvest planning in the Brazilian sugar cane industry via mixed integer programming. **European Journal of Operational Research**, v. 230, n. 2, p. 374–384, 2013.

JOÃO, A. M. et al. **VIABILIDADE DO INVESTIMENTO EM INFRAESTRUTURA DE ARMAZENAGEM: COMPARATIVO ENTRE ARMAZENAGEM CONVENCIONAL E SILO BOLSA**. XXII Seminários em Administração. **Anais...**São Paulo: nov. 2019a

JOÃO, A. M. et al. **ANÁLISE DE DECISÃO ENTRE INTERNALIZAÇÃO DA FROTA OU CONTRATAÇÃO DE FRETE NO MERCADO SPOT PARA O TRANSPORTE DE SOJA**. 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET. **Anais...**Camboriú: ANPET, 12 nov. 2019b.

KAVUSSANOS, M. G.; VISVIKIS, I. D. **Theory and practice of shipping freight derivatives**. [s.l.] Risk Books, 2011.

Keep Talking. Intérprete: Pink Floyd. Compositor: David Gilmour, Richard Wright e Polly Samson. In: PINK FLOYD. **The Division Bell**. Intérprete: Pink Floyd. Londres: EMI Records, 1994. 1 CD, faixa 9 (6 min).

KWAG, S. IL; KO, Y. D. Optimal design for the Halal food logistics network. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 128, n. September 2018, p. 212–228, 2019.

LAMSAL, K.; JONES, P. C.; THOMAS, B. W. Sugarcane Harvest Logistics in Brazil. **Transportation Science**, v. 51, n. 2, p. 771–789, 2017.

LOPES, H. DOS S. et al. Scenario analysis of Brazilian soybean exports via discrete event simulation applied to soybean transportation: The case of Mato Grosso State. **Research in Transportation Business and Management**, v. 25, n. August, p. 66–75, 2017.

LOPEZ MILAN, E.; MIQUEL FERNANDEZ, S.; PLA ARAGONES, L. M. Sugar cane transportation in Cuba, a case study. **European Journal of Operational Research**, v. 174, n. 1, p. 374–386, 2006.

LUCAS, M. T.; CHHAJED, D. Applications of location analysis in agriculture: a survey. **Journal of the Operational Research Society**, v. 55, n. 6, p. 561–578, 21 jun. 2004.

MAIYAR, L. M.; THAKKAR, J. J. Modelling and analysis of intermodal food grain transportation under hub disruption towards sustainability. **International Journal of Production Economics**, v. 217, n. May 2017, p. 281–297, 2019.

MANKIW, N. G. **Principles of microeconomics**. 9th. ed. Boston: Cengage Learning, 2020.

ME. **Exportação e Importação Geral**. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>>. Acesso em: 21 maio. 2020.

MERENER, N. et al. Optimal trading and shipping of agricultural commodities. **Journal of the Operational Research Society**, v. 67, n. 1, p. 114–126, 21 jan. 2016.

MOGALE, D. G. et al. Modelling supply chain network for procurement of food grains in India. **International Journal of Production Research**, p. 1–20, 24 out. 2019.

PAREDES-BELMAR, G. et al. A milk collection problem with blending. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 94, p. 26–43, 2016.

PERSSON, U. M. The Impact of Biofuel Demand on Agricultural Commodity Prices: A Systematic Review. In: **Advances in Bioenergy**. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2015. p. 465–482.

PETERSON, H. H.; TOMEK, W. G. How much of commodity price behavior can a rational expectations storage model explain? **Agricultural Economics**, v. 33, n. 3, p. 289–303, nov. 2005.

ROBERTS, M. J.; SCHLENKER, W. Identifying supply and demand elasticities of agricultural commodities: Implications for the US ethanol mandate. **American Economic Review**, v. 103, n. 6, p. 2265–2295, out. 2013.

ROCHA, F. V. DA et al. A ARMAZENAGEM DE GRÃOS NO BRASIL: QUAL A MELHOR ESTRATÉGIA PARA OS EXPORTADORES? **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 16, n. 3, p. 366–386, 6 mar. 2019.

ROCHA, F. V.; JOÃO, A. M.; CAIXETA-FILHO, J. V. A ARMAZENAGEM COMO

ESTRATÉGIA DE COMERCIALIZAÇÃO PARA O PRODUTOR: UMA ANÁLISE UTILIZANDO SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO. XX SEMEAD Seminários em Administração. São Paulo: nov. 2017

RONI, M. S. et al. A supply chain network design model for biomass co-firing in coal-fired power plants. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 61, p. 115–134, 2014.

SANDERS, D. R.; IRWIN, S. H.; MERRIN, R. P. The Adequacy of Speculation in Agricultural Futures Markets: Too Much of a Good Thing? **Applied Economic Perspectives and Policy**, v. 32, n. 1, 1 mar. 2010.

SHARMA, D. K.; JANA, R. K. A hybrid genetic algorithm model for transshipment management decisions. **International Journal of Production Economics**, 2009.

TANGKITJAROENMONGKOL, R.; KAITTISIN, S.; ONGWATTANAKUL, S. **Inbound logistics cassava starch planning: With application of GIS and K-means clustering methods in Thailand.** Proceedings of the 2011 8th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering, JCSSE 2011. **Anais...**2011

WINSTON, W. L. **Operations research: applications and algorithms.** 4^a ed. [s.l.] Thomson, 2004.

WOSLEY, L. A. **Integer Programming.** New York: John Wiley and Sons Inc., 1998.

WUTTHISIRISART, P.; SIR, M. Y.; NOBLE, J. S. The two-warehouse material location selection problem. **International Journal of Production Economics**, v. 170, p. 780–789, 2015.

YU, J. C. P. Optimizing a two-warehouse system under shortage backordering, trade credit, and decreasing rental conditions. **International Journal of Production Economics**, 2019.

ZHANG, X. X. et al. Bubbles in agricultural commodity markets of china. **Complexity**, v. 2019, 2019.

APÊNDICE A – Oferta de soja por mesorregião por mês (t)

Mesorregião (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Porto Velho (RO)	-	-	-	-	-	15.055	15.055	15.055	15.055	15.055	-	-
Cacoal (RO)	-	-	-	-	-	185.007	185.007	185.007	185.007	185.007	-	-
Cruzeiro do Sul (AC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rio Branco (AC)	-	-	-	-	-	282	282	282	282	282	-	-
Santa Isabel do Rio Negro (AM)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eirunepé (AM)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manacapuru (AM)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manicoré (AM)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bonfim (RR)	-	-	-	-	-	18.794	18.794	18.794	18.794	18.794	-	-
Rorainópolis (RR)	-	-	-	-	-	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	-	-
Santarém (PA)	-	-	-	-	-	33.409	33.409	33.409	33.409	33.409	-	-
Portel (PA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bujaru (PA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acará (PA)	-	-	-	-	-	6.324	6.324	6.324	6.324	6.324	-	-
Medicilândia (PA)	-	-	-	-	-	6.424	6.424	6.424	6.424	6.424	-	-
Ulianópolis (PA)	-	-	-	-	-	281.537	281.537	281.537	281.537	281.537	-	-
Tartarugalzinho (AP)	-	-	-	-	-	596	596	596	596	596	-	-
Macapá (AP)	-	-	-	-	-	10.158	10.158	10.158	10.158	10.158	-	-
Lagoa da Confusão (TO)	-	-	-	-	-	298.041	298.041	298.041	298.041	298.041	-	-
Campos Lindos (TO)	-	-	-	-	-	235.547	235.547	235.547	235.547	235.547	-	-
Barreirinhas (MA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Açailândia (MA)	-	-	66.788	66.788	66.788	66.788	66.788	-	-	-	-	-

(continua)

(continuação)

Mesorregião (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Barra do Corda (MA)	-	-	12.047	12.047	12.047	12.047	12.047	-	-	-	-	-
Aldeias Altas (MA)	-	-	72.219	72.219	72.219	72.219	72.219	-	-	-	-	-
Balsas (MA)	-	-	399.187	399.187	399.187	399.187	399.187	-	-	-	-	-
Parnaíba (PI)	-	-	836	836	836	836	836	-	-	-	-	-
Teresina (PI)	-	-	6.876	6.876	6.876	6.876	6.876	-	-	-	-	-
Baixa Grande do Ribeiro (PI)	-	-	485.858	485.858	485.858	485.858	485.858	-	-	-	-	-
Picos (PI)	-	-	360	360	360	360	360	-	-	-	-	-
Tianguá (CE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Beberibe (CE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aquiraz (CE)	-	-	38	38	38	38	38	-	-	-	-	-
Crateús (CE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Limoeiro do Norte (CE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Iguatu (CE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Farias Brito (CE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mossoró (RN)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Macau (RN)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Brejinho (RN)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Canguaretama (RN)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sousa (PB)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Boqueirão (PB)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alagoa Nova (PB)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pedras de Fogo (PB)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ibimirim (PE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Petrolina (PE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(continua)

(continuação)

Mesorregião (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
São Bento do Una (PE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Goiana (PE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Moreno (PE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mata Grande (AL)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arapiraca (AL)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coruripe (AL)	-	-	495	495	495	495	495	-	-	-	-	-
Carira (SE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lagarto (SE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estância (SE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
São Desidério (BA)	-	-	1.261.157	1.261.157	1.261.157	1.261.157	1.261.157	-	-	-	-	-
Juazeiro (BA)	-	-	693	693	693	693	693	-	-	-	-	-
Itaberaba (BA)	-	-	10	10	10	10	10	-	-	-	-	-
Rio Real (BA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maragogipe (BA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mucugê (BA)	-	-	262	262	262	262	262	-	-	-	-	-
Itamaraju (BA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Unai (MG)	-	445.342	445.342	445.342	445.342	-	-	-	-	-	-	-
Buritizero (MG)	-	36.525	36.525	36.525	36.525	-	-	-	-	-	-	-
Itamarandiba (MG)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carlos Chagas (MG)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Uberaba (MG)	-	710.414	710.414	710.414	710.414	-	-	-	-	-	-	-
Curvelo (MG)	-	10.738	10.738	10.738	10.738	-	-	-	-	-	-	-

(continua)

(continuação)

Mesorregião (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Pará de Minas (MG)	-	977	977	977	977	-	-	-	-	-	-	-
Governador Valadares (MG)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BambuÍ (MG)	-	38.976	38.976	38.976	38.976	-	-	-	-	-	-	-
Itanhandu (MG)	-	96.454	96.454	96.454	96.454	-	-	-	-	-	-	-
Barbacena (MG)	-	20.104	20.104	20.104	20.104	-	-	-	-	-	-	-
Ervália (MG)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vila Valério (ES)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Linhares (ES)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Santa Maria de Jetibá (ES)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MarataÍzes (ES)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cambuci (RJ)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
São Francisco de Itabapoana (RJ)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sumidouro (RJ)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Araruama (RJ)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rio Claro (RJ)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teresópolis (RJ)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Itajobi (SP)	-	27.667	27.667	27.667	27.667	-	-	-	-	-	-	-
Morro Agudo (SP)	-	113.532	113.532	113.532	113.532	-	-	-	-	-	-	-
Guararapes (SP)	-	38.024	38.024	38.024	38.024	-	-	-	-	-	-	-
AvaÍ (SP)	-	78.472	78.472	78.472	78.472	-	-	-	-	-	-	-
São Carlos (SP)	-	13.228	13.228	13.228	13.228	-	-	-	-	-	-	-
Piracicaba (SP)	-	6.601	6.601	6.601	6.601	-	-	-	-	-	-	-
Holambra (SP)	-	19.565	19.565	19.565	19.565	-	-	-	-	-	-	-
Rancharia (SP)	-	37.915	37.915	37.915	37.915	-	-	-	-	-	-	-

(continua)

(continuação)

Mesorregião (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Bastos (SP)	-	5.977	5.977	5.977	5.977	-	-	-	-	-	-	-
Paraguaçu Paulista (SP)	-	213.742	213.742	213.742	213.742	-	-	-	-	-	-	-
Itapeva (SP)	-	274.259	274.259	274.259	274.259	-	-	-	-	-	-	-
Itatiba (SP)	-	22.384	22.384	22.384	22.384	-	-	-	-	-	-	-
São Bento do Sapucaí (SP)	-	1.212	1.212	1.212	1.212	-	-	-	-	-	-	-
Cajati (SP)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Biritiba-Mirim (SP)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paranavaí (PR)	-	206.459	206.459	206.459	206.459	-	-	-	-	-	-	-
Ubiratã (PR)	-	577.548	577.548	577.548	577.548	-	-	-	-	-	-	-
Londrina (PR)	-	767.856	767.856	767.856	767.856	-	-	-	-	-	-	-
Jacarezinho (PR)	-	430.468	430.468	430.468	430.468	-	-	-	-	-	-	-
Castro (PR)	-	483.805	483.805	483.805	483.805	-	-	-	-	-	-	-
Cascavel (PR)	-	910.430	910.430	910.430	910.430	-	-	-	-	-	-	-
Dois Vizinhos (PR)	-	408.279	408.279	408.279	408.279	-	-	-	-	-	-	-
Guarapuava (PR)	-	540.734	540.734	540.734	540.734	-	-	-	-	-	-	-
São Mateus do Sul (PR)	-	280.971	280.971	280.971	280.971	-	-	-	-	-	-	-
São José dos Pinhais (PR)	-	150.003	150.003	150.003	150.003	-	-	-	-	-	-	-
Concórdia (SC)	-	298.030	298.030	298.030	298.030	-	-	-	-	-	-	-
Canoinhas (SC)	-	130.055	130.055	130.055	130.055	-	-	-	-	-	-	-
Campos Novos (SC)	-	144.115	144.115	144.115	144.115	-	-	-	-	-	-	-
Ituporanga (SC)	-	11.749	11.749	11.749	11.749	-	-	-	-	-	-	-
Antônio Carlos (SC)	-	15	15	14	14	-	-	-	-	-	-	-
Sombrio (SC)	-	2.548	2.548	2.548	2.548	-	-	-	-	-	-	-

(continua)

(conclusão)

Mesorregião (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Palmeira das Missões (RS)	-	2.681.232	2.681.232	2.681.232	2.681.232	-	-	-	-	-	-	-
Vacaria (RS)	-	268.384	268.384	268.384	268.384	-	-	-	-	-	-	-
Tupanciretã (RS)	-	584.688	584.688	584.688	584.688	-	-	-	-	-	-	-
Cachoeira do Sul (RS)	-	207.282	207.282	207.282	207.282	-	-	-	-	-	-	-
Camaquã (RS)	-	69.892	69.892	69.892	69.892	-	-	-	-	-	-	-
Uruguaiana (RS)	-	385.933	385.933	385.933	385.933	-	-	-	-	-	-	-
Santa Vitória do Palmar (RS)	-	187.271	187.271	187.271	187.271	-	-	-	-	-	-	-
Corumbá (MS)	18.384	18.384	18.384	18.384	18.384	-	-	-	-	-	-	-
Sidrolândia (MS)	454.070	454.070	454.070	454.070	454.070	-	-	-	-	-	-	-
Três Lagoas (MS)	224.327	224.327	224.327	224.327	224.327	-	-	-	-	-	-	-
Maracaju (MS)	1.277.096	1.277.096	1.277.096	1.277.096	1.277.096	-	-	-	-	-	-	-
Sorriso (MT)	4.008.362	4.008.362	4.008.362	4.008.362	4.008.362	-	-	-	-	-	-	-
Querência (MT)	1.192.288	1.192.288	1.192.288	1.192.288	1.192.288	-	-	-	-	-	-	-
Barra do Bugres (MT)	121.907	121.907	121.907	121.907	121.907	-	-	-	-	-	-	-
Santo Antônio do Leverger (MT)	108.067	108.067	108.067	108.067	108.067	-	-	-	-	-	-	-
Campo Verde (MT)	891.092	891.092	891.092	891.092	891.092	-	-	-	-	-	-	-
Nova Crixás (GO)	85.437	85.437	85.437	85.437	85.437	-	-	-	-	-	-	-
Niquelândia (GO)	104.169	104.169	104.169	104.169	104.169	-	-	-	-	-	-	-
Inhumas (GO)	70.122	70.122	70.122	70.122	70.122	-	-	-	-	-	-	-
Cristalina (GO)	353.898	353.898	353.898	353.898	353.898	-	-	-	-	-	-	-
Rio Verde (GO)	1.665.461	1.665.461	1.665.461	1.665.461	1.665.461	-	-	-	-	-	-	-
Brasília (DF)	50.622	50.622	50.622	50.622	50.622	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor com base em IBGE (2019a).

(continuação)

Mesorregião (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Barra do Corda (MA)	-	-	28.378	28.378	28.378	29.557	1.179	1.179	1.179	1.179	1.179	-
Aldeias Altas (MA)	-	-	25.395	25.395	25.395	25.745	350	350	350	350	350	-
Balsas (MA)	-	-	144.656	144.656	144.656	196.611	51.955	51.955	51.955	51.955	51.955	-
Parnaíba (PI)	-	-	6.520	6.520	6.520	6.592	72	72	72	72	72	-
Teresina (PI)	-	-	16.807	16.807	16.807	17.040	233	233	233	233	233	-
Baixa Grande do Ribeiro (PI)	-	-	312.717	312.717	312.717	328.295	15.579	15.579	15.579	15.579	15.579	-
Picos (PI)	-	-	19.568	19.568	19.568	19.625	58	58	58	58	58	-
Tianguá (CE)	-	-	19.035	19.035	19.035	19.035	-	-	-	-	-	-
Beberibe (CE)	-	-	18.127	18.127	18.127	18.127	-	-	-	-	-	-
Aquiraz (CE)	-	-	1.232	1.232	1.232	1.232	-	-	-	-	-	-
Crateús (CE)	-	-	32.554	32.554	32.554	32.554	-	-	-	-	-	-
Limoeiro do Norte (CE)	-	-	5.519	5.519	5.519	5.523	-	-	-	-	-	-
Iguatu (CE)	-	-	10.113	10.113	10.113	10.113	-	-	-	-	-	-
Farias Brito (CE)	-	-	30.932	30.932	30.932	30.946	13	13	13	13	13	-
Mossoró (RN)	-	-	3.163	3.163	3.163	3.163	-	-	-	-	-	-
Macau (RN)	-	-	691	691	691	691	-	-	-	-	-	-
Brejinho (RN)	-	-	1.639	1.639	1.639	1.639	-	-	-	-	-	-
Canguaretama (RN)	-	-	491	491	491	491	-	-	-	-	-	-
Sousa (PB)	-	-	6.877	6.877	6.877	6.877	-	-	-	-	-	-
Boqueirão (PB)	-	-	1.406	1.406	1.406	1.406	-	-	-	-	-	-
Alagoa Nova (PB)	-	-	5.128	5.128	5.128	5.128	-	-	-	-	-	-
Pedras de Fogo (PB)	-	-	277	277	277	277	-	-	-	-	-	-
Ibimirim (PE)	-	-	3.610	3.610	3.610	8.161	4.551	4.551	4.551	4.551	4.551	-
Petrolina (PE)	-	-	449	449	449	449	-	-	-	-	-	-
São Bento do Una (PE)	-	-	2.126	2.126	2.126	3.500	1.374	1.374	1.374	1.374	1.374	-

(continua)

(continuação)

Mesorregião (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Goiana (PE)	-	-	29	29	29	29	-	-	-	-	-	-
Moreno (PE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mata Grande (AL)	-	-	-	-	-	19	19	19	19	19	19	-
Arapiraca (AL)	-	-	-	-	-	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	-
Coruripe (AL)	-	-	-	-	-	3.154	3.154	3.154	3.154	3.154	3.154	-
Carira (SE)	-	-	-	-	-	3.372	3.372	3.372	3.372	3.372	3.372	-
Lagarto (SE)	-	-	-	-	-	10.507	10.507	10.507	10.507	10.507	10.507	-
Estância (SE)	-	-	-	-	-	3.924	3.924	3.924	3.924	3.924	3.924	-
São Desidério (BA)	-	-	502.296	502.296	502.296	507.148	4.851	4.851	4.851	4.851	4.851	-
Juazeiro (BA)	-	-	2.411	2.411	2.411	5.543	3.132	3.132	3.132	3.132	3.132	-
Itaberaba (BA)	-	-	5.659	5.659	5.659	6.772	1.114	1.114	1.114	1.114	1.114	-
Rio Real (BA)	-	-	-	-	-	24.860	24.860	24.860	24.860	24.860	24.860	-
Maragogipe (BA)	-	-	92	92	92	391	299	299	299	299	299	-
Mucugê (BA)	-	-	3.974	3.974	3.974	4.070	95	95	95	95	95	-
Itamaraju (BA)	-	-	299	299	299	318	19	19	19	19	19	-
Unaí (MG)	-	197.466	197.466	197.466	197.466	144.084	144.084	144.084	144.084	-	-	-
Buritzeiro (MG)	-	30.604	30.604	30.604	30.604	10.337	10.337	10.337	10.337	-	-	-
Itamarandiba (MG)	-	4.798	4.798	4.798	4.798	6	6	6	6	-	-	-
Carlos Chagas (MG)	-	1.725	1.725	1.725	1.725	13	13	13	13	-	-	-
Uberaba (MG)	-	422.136	422.136	422.136	422.136	301.282	301.282	301.282	301.282	-	-	-
Curvelo (MG)	-	16.723	16.723	16.723	16.723	4.404	4.404	4.404	4.404	-	-	-
Pará de Minas (MG)	-	16.412	16.412	16.412	16.412	80	80	80	80	-	-	-
Governador Valadares (MG)	-	10.992	10.992	10.992	10.992	63	63	63	63	-	-	-

(continua)

(continuação)

Mesorregião (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
BambuÍ (MG)	-	71.837	71.837	71.837	71.837	23.969	23.969	23.969	23.969	-	-	-
Itanhandu (MG)	-	250.265	250.265	250.265	250.265	31.085	31.085	31.085	31.085	-	-	-
Barbacena (MG)	-	85.595	85.595	85.595	85.595	6.875	6.875	6.875	6.875	-	-	-
Ervália (MG)	-	27.758	27.758	27.758	27.758	228	228	228	228	-	-	-
Vila Valério (ES)	-	364	364	364	364	71	71	71	71	-	-	-
Linhares (ES)	-	757	757	757	757	1.835	1.835	1.835	1.835	-	-	-
Santa Maria de Jetibá (ES)	-	2.998	2.998	2.998	2.998	330	330	330	330	-	-	-
MarataÍzes (ES)	-	4.230	4.230	4.230	4.230	27	27	27	27	-	-	-
Cambuci (RJ)	-	856	856	856	856	7	7	7	7	-	-	-
São Francisco de Itabapoana (RJ)	-	46	46	46	46	555	555	555	555	-	-	-
Sumidouro (RJ)	-	185	185	185	185	8	8	8	8	-	-	-
Araruama (RJ)	-	18	18	18	18	17	17	17	17	-	-	-
Rio Claro (RJ)	-	86	86	86	86	-	-	-	-	-	-	-
Teresópolis (RJ)	-	21	21	21	21	-	-	-	-	-	-	-
Itajobi (SP)	-	64.821	64.821	64.821	64.821	4.405	4.405	4.405	4.405	-	-	-
Morro Agudo (SP)	-	45.446	45.446	45.446	45.446	42.734	42.734	42.734	42.734	-	-	-
Guararapes (SP)	-	15.681	15.681	15.681	15.681	17.780	17.780	17.780	17.780	-	-	-
AvaÍ (SP)	-	74.929	74.929	74.929	74.929	27.625	27.625	27.625	27.625	-	-	-
São Carlos (SP)	-	17.430	17.430	17.430	17.430	2.357	2.357	2.357	2.357	-	-	-
Piracicaba (SP)	-	31.688	31.688	31.688	31.688	5.014	5.014	5.014	5.014	-	-	-
Holambra (SP)	-	141.377	141.377	141.377	141.377	4.909	4.909	4.909	4.909	-	-	-
Rancharia (SP)	-	18.243	18.243	18.243	18.243	19.110	19.110	19.110	19.110	-	-	-
Bastos (SP)	-	12.082	12.082	12.082	12.082	2.251	2.251	2.251	2.251	-	-	-
Paraguaçu Paulista (SP)	-	32.278	32.278	32.278	32.278	171.182	171.182	171.182	171.182	-	-	-

(continua)

(continuação)

Mesorregião (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Itapeva (SP)	-	149.187	149.187	149.187	149.187	155.333	155.333	155.333	155.333	-	-	-
Itatiba (SP)	-	48.160	48.160	48.160	48.160	13.429	13.429	13.429	13.429	-	-	-
São Bento do Sapucaí (SP)	-	3.899	3.899	3.899	3.899	349	349	349	349	-	-	-
Cajati (SP)	-	274	274	274	274	135	135	135	135	-	-	-
Biritiba-Mirim (SP)	-	30	30	30	30	-	-	-	-	-	-	-
Paranavaí (PR)	1.508	1.508	1.508	1.508	1.508	150.277	150.277	148.769	148.769	-	-	-
Ubiratã (PR)	11.709	11.709	11.709	11.709	11.709	351.809	351.809	340.100	340.100	-	-	-
Londrina (PR)	19.139	19.139	19.139	19.139	19.139	567.544	567.544	548.405	548.405	-	-	-
Jacarezinho (PR)	32.136	32.136	32.136	32.136	32.136	290.563	290.563	258.427	258.427	-	-	-
Castro (PR)	69.681	69.681	69.681	69.681	69.681	94.663	94.663	24.983	24.983	-	-	-
Cascavel (PR)	31.261	31.261	31.261	31.261	31.261	1.000.895	1.000.895	969.634	969.634	-	-	-
Dois Vizinhos (PR)	38.081	38.081	38.081	38.081	38.081	127.526	127.526	89.445	89.445	-	-	-
Guarapuava (PR)	102.873	102.873	102.873	102.873	102.873	115.421	115.421	12.548	12.548	-	-	-
São Mateus do Sul (PR)	67.688	67.688	67.688	67.688	67.688	90.368	90.368	22.680	22.680	-	-	-
São José dos Pinhais (PR)	68.519	68.519	68.519	68.519	68.519	68.519	68.519	-	-	-	-	-
Concórdia (SC)	206.595	206.595	206.595	206.595	206.595	206.595	206.595	-	-	-	-	-
Canoinhas (SC)	38.593	38.593	38.593	38.593	38.593	38.593	38.593	-	-	-	-	-
Campos Novos (SC)	66.626	66.626	66.626	66.626	66.626	66.626	66.626	-	-	-	-	-
Ituporanga (SC)	30.544	30.544	30.544	30.544	30.544	30.544	30.544	-	-	-	-	-
Antônio Carlos (SC)	4.295	4.295	4.295	4.295	4.295	4.295	4.295	-	-	-	-	-
Sombrio (SC)	17.639	17.639	17.639	17.639	17.639	17.639	17.639	-	-	-	-	-
Palmeira das Missões (RS)	385.044	385.044	385.044	385.044	385.044	385.044	385.044	-	-	-	-	-
Vacaria (RS)	109.639	109.639	109.639	109.639	109.639	109.639	109.639	-	-	-	-	-

(continua)

(conclusão)

Mesorregião (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Tupanciretã (RS)	23.593	23.593	23.593	23.593	23.593	23.593	23.593	-	-	-	-	-
Cachoeira do Sul (RS)	72.182	72.182	72.182	72.182	72.182	72.182	72.182	-	-	-	-	-
Camaquã (RS)	19.554	19.554	19.554	19.554	19.554	19.554	19.554	-	-	-	-	-
Uruguaiana (RS)	23.356	23.356	23.356	23.356	23.356	23.356	23.356	-	-	-	-	-
Santa Vitória do Palmar (RS)	17.669	17.669	17.669	17.669	17.669	17.669	17.669	-	-	-	-	-
Corumbá (MS)	-	1.704	1.704	1.704	1.704	21.186	21.186	21.186	21.186	-	-	-
Sidrolândia (MS)	-	7.970	7.970	7.970	7.970	408.589	408.589	408.589	408.589	-	-	-
Três Lagoas (MS)	-	22.316	22.316	22.316	22.316	160.200	160.200	160.200	160.200	-	-	-
Maracaju (MS)	-	2.334	2.334	2.334	2.334	1.233.450	1.233.450	1.233.450	1.233.450	-	-	-
Sorriso (MT)	-	18.910	18.910	18.910	18.910	4.618.836	4.618.836	4.618.836	4.618.836	-	-	-
Querência (MT)	-	11.201	11.201	11.201	11.201	847.634	847.634	847.634	847.634	-	-	-
Barra do Bugres (MT)	-	10.949	10.949	10.949	10.949	98.636	98.636	98.636	98.636	-	-	-
Santo Antônio do Leverger (MT)	-	2.326	2.326	2.326	2.326	93.150	93.150	93.150	93.150	-	-	-
Campo Verde (MT)	-	33.713	33.713	33.713	33.713	807.771	807.771	807.771	807.771	-	-	-
Nova Crixás (GO)	-	2.068	2.068	2.068	2.068	10.294	10.294	10.294	10.294	-	-	-
Niquelândia (GO)	-	17.150	17.150	17.150	17.150	30.313	30.313	30.313	30.313	-	-	-
Inhumas (GO)	-	55.032	55.032	55.032	55.032	15.523	15.523	15.523	15.523	-	-	-
Cristalina (GO)	-	95.586	95.586	95.586	95.586	191.821	191.821	191.821	191.821	-	-	-
Rio Verde (GO)	-	214.420	214.420	214.420	214.420	1.601.510	1.601.510	1.601.510	1.601.510	-	-	-
Brasília (DF)	-	56.295	56.295	56.295	56.295	41.850	41.850	41.850	41.850	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor com base em IBGE(2019a).

APÊNDICE C - Demanda de soja por destino (mercados interno e externo) e mês (t)

Destino (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Barcarena (PA)	28.279	362.471	871.240	898.834	841.158	1.184.335	713.194	391.880	266.352	64.192	-	31.502
Barra dos Coqueiros (SE)	-	-	-	-	-	-	-	29.064	-	-	-	-
Canoas (RS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Guarujá (SP)	173.945	1.426.268	2.169.688	1.920.374	1.613.305	1.371.065	402.000	138.339	-	-	-	-
Ilhéus (BA)	-	-	-	-	-	-	59.222	30.133	-	-	-	-
Imbituba (SC)	62.421	30.327	161.933	65.337	103.050	131.157	70.105	129.612	74.015	130.507	61.107	19.874
Itacoatiara (AM)	39.821	400.558	497.118	423.712	479.295	425.339	356.561	189.597	146.922	50.582	28.069	74.164
Itaituba (PA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ladário (MS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paranaguá (PR)	361.637	988.619	1.652.253	2.129.348	1.335.025	1.414.880	1.261.833	1.499.826	1.467.362	1.067.006	1.286.388	893.974
Pelotas (RS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Porto Murtinho (MS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Porto Velho (RO)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rio Grande (RS)	511.541	379.282	1.072.973	1.427.330	1.654.510	1.151.540	1.262.645	1.502.396	1.628.550	1.196.699	1.280.517	562.534
Salvador (BA)	29.997	-	272.888	395.425	311.730	400.505	470.293	354.034	391.473	419.535	466.558	269.071
Santana (AP)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.051
Santarém (PA)	-	393.273	559.956	422.000	594.478	427.215	89.104	-	-	-	-	-
Santos (SP)	172.329	1.010.270	1.779.299	1.735.916	1.495.111	1.343.213	1.339.364	969.258	334.388	366.646	486.430	182.617
São Francisco do Sul (SC)	67.006	318.143	464.461	655.734	588.503	522.877	512.784	477.354	534.613	414.604	593.495	333.538
São Luís (MA)	-	-	827.585	1.000.973	1.276.924	1.071.865	1.282.657	941.516	543.228	594.586	592.479	341.724
São Simão (GO)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vitória (ES)	151.133	134.750	420.863	549.371	401.727	532.074	458.602	422.661	401.352	201.643	275.934	134.331

(continua)

(continuação)

Destino (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Unaí (MG)	154.797	154.797	154.797	154.797	154.797	154.797	154.797	154.797	154.797	154.797	154.797	154.797
Simão Dias (SE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paragominas (PA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bonfim (RR)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Brasília (DF)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maracaju (MS)	203.287	203.287	203.287	203.287	203.287	203.287	203.287	203.287	203.287	203.287	203.287	203.287
Sorriso (MT)	695.274	695.274	695.274	695.274	695.274	695.274	695.274	695.274	695.274	695.274	695.274	695.274
Assis Chateaubriand (PR)	609.777	609.777	609.777	609.777	609.777	609.777	609.777	609.777	609.777	609.777	609.777	609.777
Campos Novos (SC)	48.125	48.125	48.125	48.125	48.125	48.125	48.125	48.125	48.125	48.125	48.125	48.125
Mauriti (CE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rio Verde (GO)	450.135	450.135	450.135	450.135	450.135	450.135	450.135	450.135	450.135	450.135	450.135	450.135
Princesa Isabel (PB)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Macapá (AP)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coruripe (AL)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eirunepé (AM)	33.190	33.190	33.190	33.190	33.190	33.190	33.190	33.190	33.190	33.190	33.190	33.190
Governador Dix-Sept Rosado (RN)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Campos Lindos (TO)	50.116	50.116	50.116	50.116	50.116	50.116	50.116	50.116	50.116	50.116	50.116	50.116
Tupanciretã (RS)	504.632	504.632	504.632	504.632	504.632	504.632	504.632	504.632	504.632	504.632	504.632	504.632
Vilhena (RO)	4.978	4.978	4.978	4.978	4.978	4.978	4.978	4.978	4.978	4.978	4.978	4.978
Custódia (PE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Senador Guimard (AC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Macaé (RJ)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
São Desidério (BA)	123.134	123.134	123.134	123.134	123.134	123.134	123.134	123.134	123.134	123.134	123.134	123.134
Balsas (MA)	24.892	24.892	24.892	24.892	24.892	24.892	24.892	24.892	24.892	24.892	24.892	24.892

(continua)

(conclusão)

Destino (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Itapeva (SP)	243.944	243.944	243.944	243.944	243.944	243.944	243.944	243.944	243.944	243.944	243.944	243.944
Baixa Grande do Ribeiro (PI)	50.614	50.614	50.614	50.614	50.614	50.614	50.614	50.614	50.614	50.614	50.614	50.614
Santa Maria de Jetibá (ES)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ANTAQ (2020).

APÊNDICE D - Demanda de milho por destino (mercados interno e externo) e mês

Destino (UF)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Barcarena (PA)	178.198	18.795	-	-	-	-	96.770	596.890	506.067	470.772	775.130	449.193
Barra dos Coqueiros (SE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Canoas (RS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Guarujá (SP)	432.027	29.480	46.853	-	-	-	1.223.382	1.699.989	1.294.282	1.020.278	1.506.131	1.406.433
Ilhéus (BA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Imbituba (SC)	-	-	-	-	-	29.002	-	-	-	-	-	-
Itacoatiara (AM)	318.789	54.672	-	-	-	-	95.071	166.244	81.153	78.851	267.133	442.813
Itaituba (PA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ladário (MS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Paranaguá (PR)	172.820	330.730	174.004	-	-	-	-	54.334	55.768	65.019	58.620	179.639
Pelotas (RS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Porto Murtinho (MS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Porto Velho (RO)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rio Grande (RS)	-	65.758	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Salvador (BA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Santana (AP)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Santarém (PA)	61.205	-	-	-	-	-	402.551	381.739	380.988	236.936	413.190	209.531
Santos (SP)	538.727	157.924	-	-	-	65.795	-	515.955	636.096	541.004	749.074	716.102
São Francisco do Sul (SC)	198.093	94.271	-	-	-	-	-	-	68.000	62.655	-	-
São Luís (MA)	168.596	-	-	-	-	-	-	132.950	311.267	126.500	138.157	332.413
São Simão (GO)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vitória (ES)	145.071	-	50.481	17.950	-	-	-	129.060	272.735	152.341	162.995	188.848
Simão Dias (SE)	20.705	20.705	20.705	20.705	20.705	20.705	20.705	20.705	20.705	20.705	20.705	20.705
Paragominas (PA)	147.757	147.757	147.757	147.757	147.757	147.757	147.757	147.757	147.757	147.757	147.757	147.757

(continua)

(continuação)

Destino (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Unai (MG)	443.530	443.530	443.530	443.530	443.530	443.530	443.530	443.530	443.530	443.530	443.530	443.530
Bonfim (RR)	4.838	4.838	4.838	4.838	4.838	4.838	4.838	4.838	4.838	4.838	4.838	4.838
Brasília (DF)	25.856	25.856	25.856	25.856	25.856	25.856	25.856	25.856	25.856	25.856	25.856	25.856
Maracaju (MS)	152.242	152.242	152.242	152.242	152.242	152.242	152.242	152.242	152.242	152.242	152.242	152.242
Sorriso (MT)	280.918	280.918	280.918	280.918	280.918	280.918	280.918	280.918	280.918	280.918	280.918	280.918
Assis Chateaubriand (PR)	1.198.460	1.198.460	1.198.460	1.198.460	1.198.460	1.198.460	1.198.460	1.198.460	1.198.460	1.198.460	1.198.460	1.198.460
Campos Novos (SC)	461.745	461.745	461.745	461.745	461.745	461.745	461.745	461.745	461.745	461.745	461.745	461.745
Mauriti (CE)	111.375	111.375	111.375	111.375	111.375	111.375	111.375	111.375	111.375	111.375	111.375	111.375
Rio Verde (GO)	344.069	344.069	344.069	344.069	344.069	344.069	344.069	344.069	344.069	344.069	344.069	344.069
Princesa Isabel (PB)	38.135	38.135	38.135	38.135	38.135	38.135	38.135	38.135	38.135	38.135	38.135	38.135
Macapá (AP)	522	522	522	522	522	522	522	522	522	522	522	522
Coruripe (AL)	29.652	29.652	29.652	29.652	29.652	29.652	29.652	29.652	29.652	29.652	29.652	29.652
Eirunepé (AM)	16.083	16.083	16.083	16.083	16.083	16.083	16.083	16.083	16.083	16.083	16.083	16.083
Governador Dix-Sept Rosado (RN)	22.348	22.348	22.348	22.348	22.348	22.348	22.348	22.348	22.348	22.348	22.348	22.348
Campos Lindos (TO)	48.879	48.879	48.879	48.879	48.879	48.879	48.879	48.879	48.879	48.879	48.879	48.879
Tupanciretã (RS)	551.353	551.353	551.353	551.353	551.353	551.353	551.353	551.353	551.353	551.353	551.353	551.353
Vilhena (RO)	57.831	57.831	57.831	57.831	57.831	57.831	57.831	57.831	57.831	57.831	57.831	57.831
Custódia (PE)	144.883	144.883	144.883	144.883	144.883	144.883	144.883	144.883	144.883	144.883	144.883	144.883
Senador Guimard (AC)	17.882	17.882	17.882	17.882	17.882	17.882	17.882	17.882	17.882	17.882	17.882	17.882
Macaé (RJ)	39.792	39.792	39.792	39.792	39.792	39.792	39.792	39.792	39.792	39.792	39.792	39.792
São Desidério (BA)	177.391	177.391	177.391	177.391	177.391	177.391	177.391	177.391	177.391	177.391	177.391	177.391
Balsas (MA)	63.514	63.514	63.514	63.514	63.514	63.514	63.514	63.514	63.514	63.514	63.514	63.514
Itapeva (SP)	647.757	647.757	647.757	647.757	647.757	647.757	647.757	647.757	647.757	647.757	647.757	647.757

(continua)

(conclusão)

Destino (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Baixa Grande do Ribeiro (PI)	43.834	43.834	43.834	43.834	43.834	43.834	43.834	43.834	43.834	43.834	43.834	43.834
Santa Maria de Jetibá (ES)	115.608	115.608	115.608	115.608	115.608	115.608	115.608	115.608	115.608	115.608	115.608	115.608

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ANTAQ (2020).

APÊNDICE E – Estoque inicial por produto e mesorregião (t), estoque final por produto e mesorregião (t), capacidade estática por mesorregião (t), custos de entrada por produto e mesorregião (R\$/t) e custos mensais por produto e mesorregião (R\$/t)

Mesorregiões (UF)	Estoque inicial (soja)	Estoque inicial (milho)	Estoque final (soja)	Estoque final (milho)	Capacidade estática (soja e milho)	Custo de entrada nos armazéns (soja)	Custo mensal de armazenagem (soja)	Custo de entrada nos armazéns (milho)	Custo mensal de armazenagem (milho)
Porto Velho (RO)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Cacoal (RO)	7.117	21.167	668	16.902	178.260	23,44	4,66	23,78	4,59
Cruzeiro do Sul (AC)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Rio Branco (AC)	-	2.695	-	2.165	22.690	23,44	4,66	23,78	4,59
Santa Isabel do Rio Negro (AM)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Eirunepé (AM)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Manacapuru (AM)	47.444	38.830	4.451	31.185	327.022	23,44	4,66	23,78	4,59
Manicoré (AM)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Bonfim (RR)	-	9.351	-	7.510	78.750	23,44	4,66	23,78	4,59
Rorainópolis (RR)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Santarém (PA)	-	27.133	-	21.791	228.510	23,44	4,66	23,78	4,59
Portel (PA)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Bujaru (PA)	-	6.448	-	5.179	54.300	23,44	4,66	23,78	4,59
Acará (PA)	-	3.136	-	2.518	26.400	23,44	4,66	23,78	4,59
Medicilândia (PA)	-	16.441	-	13.204	138.460	23,44	4,66	23,78	4,59
Ulianópolis (PA)	-	58.708	-	47.150	494.440	23,44	4,66	23,78	4,59
Tartarugalzinho (AP)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Macapá (AP)	-	7.363	-	5.913	62.000	23,44	4,66	23,78	4,59
Lagoa da Confusão (TO)	44.446	132.585	4.170	106.482	1.116.645	23,44	4,66	23,78	4,59

(continua)

(continuação)

Mesorregiões (UF)	Estoque inicial (soja)	Estoque inicial (milho)	Estoque final (soja)	Estoque final (milho)	Capacidade estática (soja e milho)	Custo de entrada nos armazéns (soja)	Custo mensal de armazenagem (soja)	Custo de entrada nos armazéns (milho)	Custo mensal de armazenagem (milho)
Campos Lindos (TO)	27.194	81.120	2.551	65.149	683.200	23,44	4,66	23,78	4,59
Barreirinhas (MA)	12.924	88.920	1.212	71.413	748.887	23,44	4,66	23,78	4,59
Açailândia (MA)	1.006	6.923	94	5.560	58.300	23,44	4,66	23,78	4,59
Barra do Corda (MA)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Aldeias Altas (MA)	3.432	23.610	322	18.962	198.838	23,44	4,66	23,78	4,59
Balsas (MA)	18.221	125.368	1.709	100.685	1.055.860	23,44	4,66	23,78	4,59
Parnaíba (PI)	544	1.857	51	1.492	15.632	23,44	4,66	23,78	4,59
Teresina (PI)	1.126	4.209	106	3.380	35.440	23,44	4,66	23,78	4,59
Baixa Grande do Ribeiro (PI)	70.683	241.733	6.631	194.141	2.035.909	23,44	4,66	23,78	4,59
Picos (PI)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Tianguá (CE)	-	3.733	-	2.998	31.431	23,44	4,66	23,78	4,59
Beberibe (CE)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Aquiraz (CE)	-	39.841	-	31.997	335.536	23,44	4,66	23,78	4,59
Crateús (CE)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Limoeiro do Norte (CE)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Iguatu (CE)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Farias Brito (CE)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Mossoró (RN)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Macau (RN)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Brejinho (RN)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Canguaretama (RN)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Sousa (PB)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Boqueirão (PB)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59

(continua)

(continuação)

Mesorregiões (UF)	Estoque inicial (soja)	Estoque inicial (milho)	Estoque final (soja)	Estoque final (milho)	Capacidade estática (soja e milho)	Custo de entrada nos armazéns (soja)	Custo mensal de armazenagem (soja)	Custo de entrada nos armazéns (milho)	Custo mensal de armazenagem (milho)
Alagoa Nova (PB)	-	3.549	-	2.850	29.880	23,44	4,66	23,78	4,59
Pedras de Fogo (PB)	-	12.427	-	9.980	104.650	23,44	4,66	23,78	4,59
Ibimirim (PE)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Petrolina (PE)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
São Bento do Una (PE)	-	4.090	-	3.285	34.440	23,44	4,66	23,78	4,59
Goiana (PE)	-	3.064	-	2.461	25.800	23,44	4,66	23,78	4,59
Moreno (PE)	-	15.294	-	12.283	128.800	23,44	4,66	23,78	4,59
Mata Grande (AL)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Arapiraca (AL)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Coruripe (AL)	-	2.791	-	2.242	23.500	23,44	4,66	23,78	4,59
Carira (SE)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Lagarto (SE)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Estância (SE)	-	6.175	-	4.960	52.000	23,44	4,66	23,78	4,59
São Desidério (BA)	143.278	338.907	13.441	272.183	2.854.324	23,44	4,66	23,78	4,59
Juazeiro (BA)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Itaberaba (BA)	2.060	4.869	193	3.911	41.000	23,44	4,66	23,78	4,59
Rio Real (BA)	1.565	3.700	147	2.971	31.150	23,44	4,66	23,78	4,59
Maragogipe (BA)	26.997	63.854	2.533	51.283	537.782	23,44	4,66	23,78	4,59
Mucugê (BA)	2.119	5.009	199	4.023	42.180	23,44	4,66	23,78	4,59
Itamaraju (BA)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Unaí (MG)	25.688	68.226	2.410	54.794	574.600	23,44	4,66	23,78	4,59

(continua)

(continuação)

Mesorregiões (UF)	Estoque inicial (soja)	Estoque inicial (milho)	Estoque final (soja)	Estoque final (milho)	Capacidade estática (soja e milho)	Custo de entrada nos armazéns (soja)	Custo mensal de armazenagem (soja)	Custo de entrada nos armazéns (milho)	Custo mensal de armazenagem (milho)
Buritizeiro (MG)	2.160	5.733	203	4.605	48.280	23,44	4,66	23,78	4,59
Itamarandiba (MG)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Carlos Chagas (MG)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Uberaba (MG)	131.865	350.238	12.370	281.283	2.949.750	23,44	4,66	23,78	4,59
Curvelo (MG)	1.432	3.803	134	3.054	32.020	23,44	4,66	23,78	4,59
Pará de Minas (MG)	4.359	11.576	409	9.297	97.485	23,44	4,66	23,78	4,59
Governador Valadares (MG)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
BambuÍ (MG)	4.733	12.569	444	10.095	105.850	23,44	4,66	23,78	4,59
Itanhandu (MG)	45.238	120.150	4.244	96.495	1.011.912	23,44	4,66	23,78	4,59
Barbacena (MG)	3.632	9.642	341	7.744	81.200	23,44	4,66	23,78	4,59
Ervália (MG)	2.173	5.769	204	4.633	48.577	23,44	4,66	23,78	4,59
Vila Valério (ES)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Linhares (ES)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Santa Maria de Jetibá (ES)	-	66.516	-	53.420	560.200	23,44	4,66	23,78	4,59
Marataízes (ES)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Cambuci (RJ)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
São Francisco de Itabapoana (RJ)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Sumidouro (RJ)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Araruama (RJ)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Rio Claro (RJ)	-	352	-	283	2.960	23,44	4,66	23,78	4,59
Teresópolis (RJ)	-	11.398	-	9.154	95.986	23,44	4,66	23,78	4,59
Itajobi (SP)	13.827	35.650	1.297	28.707	301.036	23,44	4,66	23,78	4,59
Morro Agudo (SP)	44.861	115.972	4.208	93.139	976.726	23,44	4,66	23,78	4,59

(continua)

(continuação)

Mesorregiões (UF)	Estoque inicial (soja)	Estoque inicial (milho)	Estoque final (soja)	Estoque final (milho)	Capacidade estática (soja e milho)	Custo de entrada nos armazéns (soja)	Custo mensal de armazenagem (soja)	Custo de entrada nos armazéns (milho)	Custo mensal de armazenagem (milho)
Guararapes (SP)	11.690	30.217	1.097	24.268	254.484	23,44	4,66	23,78	4,59
Avaí (SP)	21.002	54.293	1.970	43.604	457.256	23,44	4,66	23,78	4,59
São Carlos (SP)	3.958	10.229	371	8.215	86.141	23,44	4,66	23,78	4,59
Piracicaba (SP)	4.287	11.081	402	8.899	93.315	23,44	4,66	23,78	4,59
Holambra (SP)	16.442	42.502	1.542	34.135	357.953	23,44	4,66	23,78	4,59
Rancharia (SP)	9.261	23.937	869	19.225	201.594	23,44	4,66	23,78	4,59
Bastos (SP)	16.559	42.805	1.553	34.378	360.502	23,44	4,66	23,78	4,59
Paraguaçu Paulista (SP)	64.837	167.616	6.082	134.616	1.411.681	23,44	4,66	23,78	4,59
Itapeva (SP)	43.597	112.705	4.090	90.516	949.213	23,44	4,66	23,78	4,59
Itatiba (SP)	1.797	4.642	169	3.728	39.087	23,44	4,66	23,78	4,59
São Bento do Sapucaí (SP)	4.587	11.856	430	9.522	99.846	23,44	4,66	23,78	4,59
Cajati (SP)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Biritiba-Mirim (SP)	92.010	237.862	8.631	191.031	2.003.302	23,44	4,66	23,78	4,59
Paranavaí (PR)	18.118	67.643	1.700	54.326	569.692	23,44	4,66	23,78	4,59
Ubiratã (PR)	94.141	351.483	8.831	282.282	2.960.234	23,44	4,66	23,78	4,59
Londrina (PR)	184.671	689.488	17.324	553.741	5.806.973	23,44	4,66	23,78	4,59
Jacarezinho (PR)	44.932	167.757	4.215	134.729	1.412.864	23,44	4,66	23,78	4,59
Castro (PR)	114.939	429.135	10.782	344.647	3.614.237	23,44	4,66	23,78	4,59
Cascavel (PR)	170.919	638.143	16.034	512.505	5.374.534	23,44	4,66	23,78	4,59
Dois Vizinhos (PR)	67.459	251.864	6.328	202.276	2.121.227	23,44	4,66	23,78	4,59
Guarapuava (PR)	102.737	383.579	9.638	308.060	3.230.558	23,44	4,66	23,78	4,59

(continua)

(continuação)

Mesorregiões (UF)	Estoque inicial (soja)	Estoque inicial (milho)	Estoque final (soja)	Estoque final (milho)	Capacidade estática (soja e milho)	Custo de entrada nos armazéns (soja)	Custo mensal de armazenagem (soja)	Custo de entrada nos armazéns (milho)	Custo mensal de armazenagem (milho)
São Mateus do Sul (PR)	21.684	80.958	2.034	65.019	681.830	23,44	4,66	23,78	4,59
São José dos Pinhais (PR)	52.068	194.399	4.884	156.126	1.637.255	23,44	4,66	23,78	4,59
Concórdia (SC)	29.198	236.647	2.739	190.056	1.993.068	23,44	4,66	23,78	4,59
Canoinhas (SC)	13.707	111.089	1.286	89.218	935.598	23,44	4,66	23,78	4,59
Campos Novos (SC)	10.569	85.659	991	68.794	721.423	23,44	4,66	23,78	4,59
Ituporanga (SC)	3.392	27.492	318	22.079	231.530	23,44	4,66	23,78	4,59
Antônio Carlos (SC)	-	-	-	-	-	23,44	4,66	23,78	4,59
Sombrio (SC)	11.928	96.674	1.119	77.641	814.199	23,44	4,66	23,78	4,59
Palmeira das Missões (RS)	349.386	1.652.385	32.776	1.327.061	13.916.643	23,44	4,66	23,78	4,59
Vacaria (RS)	31.287	147.969	2.935	118.837	1.246.207	23,44	4,66	23,78	4,59
Tupanciretã (RS)	53.313	252.135	5.001	202.494	2.123.513	23,44	4,66	23,78	4,59
Cachoeira do Sul (RS)	31.531	149.117	2.958	119.759	1.255.881	23,44	4,66	23,78	4,59
Camaquã (RS)	50.644	239.512	4.751	192.357	2.017.201	23,44	4,66	23,78	4,59
Uruguaiana (RS)	107.096	506.496	10.047	406.777	4.265.784	23,44	4,66	23,78	4,59
Santa Vitória do Palmar (RS)	98.108	463.989	9.204	372.639	3.907.785	23,44	4,66	23,78	4,59
Corumbá (MS)	2.617	10.219	246	8.208	86.061	23,04	4,92	23,55	3,42
Sidrolândia (MS)	61.418	239.898	5.762	192.667	2.020.452	23,04	4,92	23,55	3,42
Três Lagoas (MS)	43.272	169.015	4.059	135.740	1.423.467	23,04	4,92	23,55	3,42
Maracaju (MS)	183.288	715.915	17.194	574.965	6.029.544	23,04	4,92	23,55	3,42
Sorriso (MT)	677.770	2.944.352	63.582	2.364.664	24.797.797	24,31	4,12	26,21	4,18
Querência (MT)	117.660	511.135	11.038	410.502	4.304.848	24,31	4,12	26,21	4,18
Barra do Bugres (MT)	18.122	78.723	1.700	63.224	663.010	24,31	4,12	26,21	4,18
Santo Antônio do Leverger (MT)	16.592	72.075	1.556	57.885	607.018	24,31	4,12	26,21	4,18

(continua)

(conclusão)

Mesorregiões (UF)	Estoque inicial (soja)	Estoque inicial (milho)	Estoque final (soja)	Estoque final (milho)	Capacidade estática (soja e milho)	Custo de entrada nos armazéns (soja)	Custo mensal de armazenagem (soja)	Custo de entrada nos armazéns (milho)	Custo mensal de armazenagem (milho)
Campo Verde (MT)	163.740	711.315	15.361	571.270	5.990.797	24,31	4,12	26,21	4,18
Nova Crixás (GO)	8.629	21.207	809	17.032	178.600	22,96	4,95	21,57	6,16
Niquelândia (GO)	13.748	33.789	1.290	27.137	284.570	22,96	4,95	22,57	6,16
Inhumas (GO)	27.021	66.415	2.535	53.339	559.349	22,96	4,95	23,57	6,16
Cristalina (GO)	50.387	123.845	4.727	99.462	1.043.030	22,96	4,95	24,57	6,16
Rio Verde (GO)	543.676	1.336.323	51.003	1.073.226	11.254.720	22,96	4,95	25,57	6,16
Brasília (DF)	-	16.322	-	13.109	137.460	23,44	4,66	23,78	4,59

Fonte: Elaborado pelo autor com base em CONAB (2018, 2019b), ESALQ-LOG (2020b) e IBGE (2019b).

APÊNDICE F - Capacidade de embarque dos terminais de transbordo multimodal em toneladas

Terminal (UF)	Capacidade de Embarque (anual)	Capacidade de Embarque (mensal)
Itaituba (PA)	5.627.807	756.801
Guarapuava (PR)	15.996	15.996
Cascavel (PR)	451.264	80.259
Araguari (MG)	5.029.562	629.922
Santa Luzia (MG)	36.081	12.483
Pirapora (MG)	1.064.568	162.122
Uberaba (MG)	4.997.936	643.770
Palmeirante (TO)	2.847.909	460.818
Porto Franco (MA)	1.708.056	349.206
Porto Nacional (TO)	2.022.784	294.964
Campinas (SP)	155.039	28.684
Guarujá (SP)	3.246	3.246
Pederneiras (SP)	1.627.646	197.841
Cubatão (SP)	14.909	14.908
Santos (SP)	72	72
Alto Araguaia (MT)	687.414	145.684
Chapadão do Sul (MS)	965.085	132.856
Itiquira (MT)	467.596	116.110
Rondonópolis (MT)	14.577.725	1.588.932
Pradópolis (SP)	3.018	3.018
Cacequi (RS)	230.243	35.478
Cruz Alta (RS)	2.174.321	222.737
Ponta Grossa (PR)	212.401	46.641
Ijuí (RS)	53.126	7.079
Júlio de Castilhos (RS)	328.259	50.196
Paranaguá (PR)	5.833	3.758
Londrina (PR)	750.691	102.674
Marialva (PR)	932.402	108.957
Maringá (PR)	4.278.211	514.434
Rio Grande (RS)	652	499
Rolândia (PR)	415.595	82.604
Santo Ângelo (RS)	89.848	15.908
Sarandi (PR)	1.316.805	162.966
Alegrete (RS)	14.285	5.376
Tupanciretã (RS)	147.877	17.788
Porto Velho (RO)	7.377.114	983.000

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ANTAQ (2020) e ANTT (2020a).

APÊNDICE G – Custos portuários para a soja por mês (R\$/t)

Porto (UF)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Barcarena (PA)	32,58	34,70	35,25	37,06	39,37	41,30	39,82	44,28	46,93	39,04	40,20	40,16
Barra dos Coqueiros (SE)	37,85	38,60	39,28	41,70	44,47	47,73	44,68	46,81	48,05	44,30	45,89	46,14
Canoas (RS)	34,30	34,31	35,52	37,13	40,29	42,08	40,95	44,18	43,85	40,15	41,54	42,38
Guarujá (SP)	35,64	35,66	35,76	37,85	40,27	43,01	41,11	44,88	43,65	41,22	42,37	42,25
Ilhéus (BA)	40,22	41,02	41,74	44,32	47,26	49,03	47,39	51,61	51,06	47,07	48,77	49,03
Imbituba (SC)	35,61	34,87	38,04	38,53	42,98	43,07	41,79	45,67	44,13	44,87	44,02	40,18
Itacoatiara (AM)	32,64	34,28	34,66	36,48	40,23	41,56	40,39	47,36	44,28	39,47	40,48	40,86
Itaituba (PA)	31,79	32,42	32,99	35,03	37,35	38,76	37,53	40,71	40,36	37,21	38,55	38,75
Ladário (MS)	37,47	35,47	42,94	40,88	43,79	45,68	44,09	47,92	53,17	38,14	45,43	45,67
Paranaguá (PR)	34,54	34,41	35,18	37,09	39,84	41,29	39,48	43,34	42,86	40,63	40,94	41,20
Pelotas (RS)	34,30	34,31	35,52	37,13	40,29	42,08	40,95	44,18	43,85	40,15	41,54	42,38
Porto Murtinho (MS)	37,47	35,47	42,94	40,88	43,79	45,68	44,09	47,92	53,17	38,14	45,43	45,67
Porto Velho (RO)	31,79	32,42	32,99	35,03	37,35	38,76	37,53	40,71	40,36	37,21	38,55	38,75
Rio Grande (RS)	34,30	34,31	35,52	37,13	40,29	42,08	40,95	44,18	43,85	40,15	41,54	42,38
Salvador (BA)	33,45	35,23	35,69	38,45	40,78	42,77	40,48	44,03	44,04	40,37	41,61	43,01
Santana (AP)	32,58	34,70	35,25	37,06	39,37	41,30	39,82	44,28	46,93	39,04	38,55	40,16
Santarém (PA)	34,12	34,07	34,91	37,35	39,73	41,11	39,95	46,60	43,48	39,93	41,37	41,59
Santos (SP)	35,64	35,66	35,76	37,85	40,27	43,01	41,11	44,88	43,65	41,22	42,37	42,25
São Francisco do Sul (SC)	34,72	35,06	36,10	37,65	40,32	42,15	39,96	42,89	42,99	40,89	41,57	42,43
São Luís (MA)	33,98	34,65	35,53	37,42	39,67	41,01	40,05	43,08	42,69	39,15	41,38	43,14
São Simão (GO)	31,79	32,42	32,99	35,03	37,35	38,76	37,53	40,71	40,36	37,21	38,55	38,75
Vitória (ES)	33,12	34,34	34,99	37,09	39,44	40,81	39,13	43,16	42,19	39,54	42,07	40,97

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ANTAQ (2020).

APÊNDICE H - Custos portuários para o milho por mês (R\$/t)

Porto (UF)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Barcarena (PA)	35,21	33,94	34,40	36,52	38,94	40,40	38,25	42,27	41,45	38,18	40,17	40,03
Barra dos Coqueiros (SE)	37,85	38,60	39,28	41,70	44,47	47,73	44,68	46,81	48,05	44,30	45,89	46,14
Canoas (RS)	35,94	36,65	37,30	39,60	42,23	43,82	42,43	46,03	45,63	42,07	43,58	43,81
Guarujá (SP)	34,40	34,93	34,31	37,53	40,02	40,63	39,96	43,60	43,54	41,04	41,43	41,64
Ilhéus (BA)	40,22	41,02	41,74	44,32	47,26	49,03	47,39	51,61	51,06	47,07	48,77	49,03
Imbituba (SC)	33,32	33,98	34,58	36,72	39,15	40,62	39,34	42,67	42,30	39,00	40,40	40,62
Itacoatiara (AM)	33,10	46,18	36,63	38,89	41,47	43,03	41,51	43,63	43,34	39,66	40,28	40,86
Itaituba (PA)	31,79	32,42	32,99	35,03	37,35	38,76	37,53	40,71	40,36	37,21	38,55	38,75
Ladário (MS)	37,47	35,47	42,94	40,88	43,79	45,68	44,09	47,92	53,17	38,14	45,43	45,67
Paranaguá (PR)	34,54	34,49	36,09	37,74	40,24	41,76	40,43	44,06	43,27	41,79	40,68	40,40
Pelotas (RS)	35,94	36,65	37,30	39,60	42,23	43,82	42,43	46,03	45,63	42,07	43,58	43,81
Porto Murtinho (MS)	37,47	35,47	42,94	40,88	43,79	45,68	44,09	47,92	53,17	38,14	45,43	45,67
Porto Velho (RO)	31,79	32,42	32,99	35,03	37,35	38,76	37,53	40,71	40,36	37,21	38,55	38,75
Rio Grande (RS)	35,94	36,65	37,30	39,60	42,23	43,82	42,43	46,03	45,63	42,07	43,58	43,81
Salvador (BA)	33,45	35,23	35,69	38,45	40,78	42,77	40,48	44,03	44,04	40,37	41,61	43,01
Santana (AP)	35,21	33,94	34,40	36,52	38,94	40,40	38,25	42,27	41,45	38,18	40,17	40,03
Santarém (PA)	34,00	34,41	35,01	37,17	39,64	41,13	39,79	42,93	42,81	39,19	40,45	41,89
Santos (SP)	34,40	34,93	34,31	37,53	40,02	40,63	39,96	43,60	43,54	41,04	41,43	41,64
São Francisco do Sul (SC)	34,98	35,52	36,53	38,78	41,35	42,91	41,55	45,08	44,06	42,45	42,68	42,90
São Luís (MA)	33,88	34,46	35,07	37,23	39,70	41,19	39,75	42,97	42,99	39,74	40,94	41,11
São Simão (GO)	31,79	32,42	32,99	35,03	37,35	38,76	37,53	40,71	40,36	37,21	38,55	38,75
Vitória (ES)	33,64	34,93	36,86	36,87	40,24	41,75	40,43	42,68	42,23	41,56	41,87	42,33

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ANTAQ (2020).

APÊNDICE I – Intercepto e inclinação das curvas de frete (linear e logarítmicas) para cada agregação e corredor construído por mês (R\$/t), R² das curvas e ponto de cruzamento (km)

ID	Nome	Mês	Curva linear - Intercepto (c)	Curva linear - Inclinação (d)	Curva linear (R ²)	Curva logarítmica - Intercepto (a)	Curva logarítmica - Inclinação (b)	Curva logarítmica (R ²)	Ponto de cruzamento (l)
1	Geral	1	23,7195	0,1120	0,9030	-0,0974	0,7257	0,9126	314
1	Geral	2	30,8236	0,1237	0,8939	-0,0436	0,7384	0,9160	418
1	Geral	3	41,1984	0,1233	0,8609	0,4308	0,6792	0,8541	416
1	Geral	4	36,5192	0,1214	0,8790	0,0889	0,7232	0,9076	469
1	Geral	5	32,0424	0,1228	0,9179	-0,0832	0,7455	0,9161	442
1	Geral	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
1	Geral	7	30,3498	0,1355	0,8389	0,2218	0,7069	0,8904	322
1	Geral	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
1	Geral	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
1	Geral	10	40,6633	0,1071	0,7271	0,4862	0,6537	0,8419	484
1	Geral	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
1	Geral	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290
2	CO-CO	1	21,2882	0,1333	0,8748	0,0504	0,7158	0,8955	244
2	CO-CO	2	20,9196	0,1523	0,8749	0,3561	0,6814	0,8783	158
2	CO-CO	3	27,2645	0,1524	0,8874	0,6787	0,6414	0,8634	170
2	CO-CO	4	26,2377	0,1379	0,8824	0,4761	0,6610	0,8570	210
2	CO-CO	5	22,5991	0,1353	0,9336	0,2476	0,6915	0,9098	191
2	CO-CO	6	25,3315	0,1481	0,8850	0,2928	0,6985	0,8932	218
2	CO-CO	7	43,4943	0,1075	0,5712	0,4046	0,6779	0,8363	387
2	CO-CO	8	23,1506	0,1504	0,7976	0,5047	0,6567	0,8053	182
2	CO-CO	9	24,7952	0,1518	0,8320	0,8552	0,6053	0,8153	125
2	CO-CO	10	33,5297	0,1155	0,6916	0,7182	0,6153	0,8087	285
2	CO-CO	11	24,1839	0,1456	0,8617	0,6675	0,6331	0,8563	140
2	CO-CO	12	30,7023	0,1377	0,7373	0,8178	0,6142	0,8541	190
3	CO-NE	1	23,7195	0,1120	0,9030	-0,0974	0,7257	0,9126	314
3	CO-NE	2	30,8236	0,1237	0,8939	-0,0436	0,7384	0,9160	418
3	CO-NE	3	41,1984	0,1233	0,8609	0,4308	0,6792	0,8541	416
3	CO-NE	4	36,5192	0,1214	0,8790	0,0889	0,7232	0,9076	469
3	CO-NE	5	32,0424	0,1228	0,9179	-0,0832	0,7455	0,9161	442
3	CO-NE	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
3	CO-NE	7	30,3498	0,1355	0,8389	0,2218	0,7069	0,8904	322
3	CO-NE	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
3	CO-NE	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
3	CO-NE	10	40,6633	0,1071	0,7271	0,4862	0,6537	0,8419	484
3	CO-NE	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
3	CO-NE	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290
4	CO-NO	1	23,7195	0,1120	0,9030	-0,0974	0,7257	0,9126	314
4	CO-NO	2	30,8236	0,1237	0,8939	-0,0436	0,7384	0,9160	418
4	CO-NO	3	41,1984	0,1233	0,8609	0,4308	0,6792	0,8541	416
4	CO-NO	4	36,5192	0,1214	0,8790	0,0889	0,7232	0,9076	469
4	CO-NO	5	32,0424	0,1228	0,9179	-0,0832	0,7455	0,9161	442

(continua)

(continuação)

ID	Nome	Mês	Curva linear - Intercepto (c)	Curva linear - Inclinação (d)	Curva linear (R ²)	Curva logarítmica - Intercepto (a)	Curva logarítmica - Inclinação (b)	Curva logarítmica (R ²)	Ponto de cruzamento (l)
4	CO-NO	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
4	CO-NO	7	30,3498	0,1355	0,8389	0,2218	0,7069	0,8904	322
4	CO-NO	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
4	CO-NO	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
4	CO-NO	10	40,6633	0,1071	0,7271	0,4862	0,6537	0,8419	484
4	CO-NO	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
4	CO-NO	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290
5	CO-SE	1	29,7177	0,1085	0,8758	-0,3377	0,7648	0,8980	578
5	CO-SE	2	31,0056	0,1232	0,8801	-0,4056	0,7899	0,9009	650
5	CO-SE	3	38,9173	0,1294	0,8884	0,0137	0,7426	0,8359	560
5	CO-SE	4	37,8253	0,1226	0,8444	-0,2892	0,7779	0,8589	818
5	CO-SE	5	35,2358	0,1222	0,9161	-0,4054	0,7926	0,9018	767
5	CO-SE	6	38,6429	0,1240	0,7860	-0,2454	0,7728	0,8159	927
5	CO-SE	7	26,8007	0,1403	0,9065	-0,4389	0,8055	0,8864	552
5	CO-SE	8	32,0433	0,1317	0,8644	-0,1692	0,7628	0,8531	594
5	CO-SE	9	44,2621	0,1161	0,7667	-0,2502	0,7709	0,7259	1062
5	CO-SE	10	30,1098	0,1222	0,8731	-0,6583	0,8232	0,8464	938
5	CO-SE	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
5	CO-SE	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290
6	CO-SU	1	29,7177	0,1085	0,8758	-0,3377	0,7648	0,8980	578
6	CO-SU	2	31,0056	0,1232	0,8801	-0,4056	0,7899	0,9009	650
6	CO-SU	3	38,9173	0,1294	0,8884	0,0137	0,7426	0,8359	560
6	CO-SU	4	37,8253	0,1226	0,8444	-0,2892	0,7779	0,8589	818
6	CO-SU	5	35,2358	0,1222	0,9161	-0,4054	0,7926	0,9018	767
6	CO-SU	6	38,6429	0,1240	0,7860	-0,2454	0,7728	0,8159	927
6	CO-SU	7	26,8007	0,1403	0,9065	-0,4389	0,8055	0,8864	552
6	CO-SU	8	32,0433	0,1317	0,8644	-0,1692	0,7628	0,8531	594
6	CO-SU	9	44,2621	0,1161	0,7667	-0,2502	0,7709	0,7259	1062
6	CO-SU	10	30,1098	0,1222	0,8731	-0,6583	0,8232	0,8464	938
6	CO-SU	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
6	CO-SU	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290
7	NE-NE	1	26,6426	0,1139	0,8912	1,4165	0,5067	0,7503	64
7	NE-NE	2	30,1724	0,1238	0,9070	0,9344	0,5872	0,7619	157
7	NE-NE	3	41,1984	0,1233	0,8609	0,4308	0,6792	0,8541	416
7	NE-NE	4	47,0318	0,1256	0,6279	1,3220	0,5484	0,7056	273
7	NE-NE	5	54,3885	0,1216	0,7820	0,5693	0,6676	0,8711	652
7	NE-NE	6	54,6590	0,1156	0,8022	0,1759	0,7217	0,8759	735
7	NE-NE	7	48,1931	0,1399	0,6753	0,2299	0,7249	0,7732	801
7	NE-NE	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
7	NE-NE	9	54,2778	0,1312	0,6313	0,4316	0,6944	0,6934	748
7	NE-NE	10	38,6192	0,1477	0,7628	0,8320	0,6310	0,7975	266
7	NE-NE	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
7	NE-NE	12	19,1557	0,1512	0,9283	0,9354	0,5943	0,8659	54
8	NE-SE	1	24,6972	0,1153	0,8928	1,3352	0,5161	0,7421	61
8	NE-SE	2	36,3116	0,1142	0,8160	0,9735	0,5808	0,7526	236

(continua)

(continuação)

ID	Nome	Mês	Curva linear - Intercepto (c)	Curva linear - Inclinação (d)	Curva linear (R ²)	Curva logarítmica - Intercepto (a)	Curva logarítmica - Inclinação (b)	Curva logarítmica (R ²)	Ponto de cruzamento (l)
8	NE-SE	3	41,1984	0,1233	0,8609	0,4308	0,6792	0,8541	416
8	NE-SE	4	36,5192	0,1214	0,8790	0,0889	0,7232	0,9076	469
8	NE-SE	5	32,0424	0,1228	0,9179	-0,0832	0,7455	0,9161	442
8	NE-SE	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
8	NE-SE	7	48,1931	0,1399	0,6753	0,2299	0,7249	0,7732	801
8	NE-SE	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
8	NE-SE	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
8	NE-SE	10	53,0092	0,1232	0,6347	0,9724	0,6070	0,7691	478
8	NE-SE	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
8	NE-SE	12	19,1557	0,1512	0,9283	0,9354	0,5943	0,8659	54
9	NE-NO	1	24,6972	0,1153	0,8928	1,3352	0,5161	0,7421	61
9	NE-NO	2	36,3116	0,1142	0,8160	0,9735	0,5808	0,7526	236
9	NE-NO	3	41,1984	0,1233	0,8609	0,4308	0,6792	0,8541	416
9	NE-NO	4	36,5192	0,1214	0,8790	0,0889	0,7232	0,9076	469
9	NE-NO	5	32,0424	0,1228	0,9179	-0,0832	0,7455	0,9161	442
9	NE-NO	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
9	NE-NO	7	48,1931	0,1399	0,6753	0,2299	0,7249	0,7732	801
9	NE-NO	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
9	NE-NO	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
9	NE-NO	10	53,0092	0,1232	0,6347	0,9724	0,6070	0,7691	478
9	NE-NO	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
9	NE-NO	12	19,1557	0,1512	0,9283	0,9354	0,5943	0,8659	54
10	NE-CO	1	24,6972	0,1153	0,8928	1,3352	0,5161	0,7421	61
10	NE-CO	2	36,3116	0,1142	0,8160	0,9735	0,5808	0,7526	236
10	NE-CO	3	41,1984	0,1233	0,8609	0,4308	0,6792	0,8541	416
10	NE-CO	4	36,5192	0,1214	0,8790	0,0889	0,7232	0,9076	469
10	NE-CO	5	32,0424	0,1228	0,9179	-0,0832	0,7455	0,9161	442
10	NE-CO	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
10	NE-CO	7	48,1931	0,1399	0,6753	0,2299	0,7249	0,7732	801
10	NE-CO	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
10	NE-CO	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
10	NE-CO	10	53,0092	0,1232	0,6347	0,9724	0,6070	0,7691	478
10	NE-CO	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
10	NE-CO	12	19,1557	0,1512	0,9283	0,9354	0,5943	0,8659	54
11	NE-SU	1	24,6972	0,1153	0,8928	1,3352	0,5161	0,7421	61
11	NE-SU	2	36,3116	0,1142	0,8160	0,9735	0,5808	0,7526	236
11	NE-SU	3	41,1984	0,1233	0,8609	0,4308	0,6792	0,8541	416
11	NE-SU	4	36,5192	0,1214	0,8790	0,0889	0,7232	0,9076	469
11	NE-SU	5	32,0424	0,1228	0,9179	-0,0832	0,7455	0,9161	442
11	NE-SU	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
11	NE-SU	7	48,1931	0,1399	0,6753	0,2299	0,7249	0,7732	801
11	NE-SU	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
11	NE-SU	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
11	NE-SU	10	53,0092	0,1232	0,6347	0,9724	0,6070	0,7691	478

(continua)

(continuação)

ID	Nome	Mês	Curva linear - Intercepto (c)	Curva linear - Inclinação (d)	Curva linear (R ²)	Curva logarítmica - Intercepto (a)	Curva logarítmica - Inclinação (b)	Curva logarítmica (R ²)	Ponto de cruzamento (l)
11	NE-SU	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
11	NE-SU	12	19,1557	0,1512	0,9283	0,9354	0,5943	0,8659	54
12	NO-NO	1	23,6952	0,1182	0,9696	2,1738	0,3799	0,6509	16
12	NO-NO	2	27,7494	0,1127	0,8757	1,7227	0,4489	0,7389	55
12	NO-NO	3	43,9610	0,1113	0,9094	1,7911	0,4727	0,8877	117
12	NO-NO	4	41,2048	0,1232	0,9436	0,8422	0,6166	0,9451	299
12	NO-NO	5	44,3573	0,1008	0,8642	0,9239	0,5989	0,9197	262
12	NO-NO	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
12	NO-NO	7	34,1465	0,1292	0,8786	1,6650	0,4810	0,7877	87
12	NO-NO	8	34,6019	0,1331	0,9359	1,0897	0,5761	0,9257	169
12	NO-NO	9	32,1645	0,1535	0,7146	2,0393	0,4133	0,6345	57
12	NO-NO	10	38,4291	0,1239	0,8270	1,8055	0,4574	0,8655	108
12	NO-NO	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
12	NO-NO	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290
13	NO-SE	1	19,6770	0,1269	0,9656	2,1738	0,3799	0,6509	9
13	NO-SE	2	25,3832	0,1212	0,8976	1,7227	0,4489	0,7389	44
13	NO-SE	3	45,9752	0,1081	0,9145	1,7911	0,4727	0,8877	131
13	NO-SE	4	46,8094	0,1133	0,9268	0,8422	0,6166	0,9451	362
13	NO-SE	5	43,2480	0,1120	0,9058	0,9239	0,5989	0,9197	303
13	NO-SE	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
13	NO-SE	7	33,3748	0,1347	0,9463	1,6650	0,4810	0,7877	85
13	NO-SE	8	36,6943	0,1277	0,9608	1,0897	0,5761	0,9257	187
13	NO-SE	9	36,3576	0,1351	0,8183	2,0393	0,4133	0,6345	81
13	NO-SE	10	46,9436	0,1017	0,8565	1,8055	0,4574	0,8655	177
13	NO-SE	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
13	NO-SE	12	48,0312	0,1090	0,6941	1,1436	0,5639	0,7265	381
14	NO-NE	1	19,6770	0,1269	0,9656	2,1738	0,3799	0,6509	9
14	NO-NE	2	25,3832	0,1212	0,8976	1,7227	0,4489	0,7389	44
14	NO-NE	3	45,9752	0,1081	0,9145	1,7911	0,4727	0,8877	131
14	NO-NE	4	46,8094	0,1133	0,9268	0,8422	0,6166	0,9451	362
14	NO-NE	5	43,2480	0,1120	0,9058	0,9239	0,5989	0,9197	303
14	NO-NE	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
14	NO-NE	7	33,3748	0,1347	0,9463	1,6650	0,4810	0,7877	85
14	NO-NE	8	36,6943	0,1277	0,9608	1,0897	0,5761	0,9257	187
14	NO-NE	9	36,3576	0,1351	0,8183	2,0393	0,4133	0,6345	81
14	NO-NE	10	46,9436	0,1017	0,8565	1,8055	0,4574	0,8655	177
14	NO-NE	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
14	NO-NE	12	48,0312	0,1090	0,6941	1,1436	0,5639	0,7265	381
15	NO-CO	1	19,6770	0,1269	0,9656	2,1738	0,3799	0,6509	9
15	NO-CO	2	25,3832	0,1212	0,8976	1,7227	0,4489	0,7389	44
15	NO-CO	3	45,9752	0,1081	0,9145	1,7911	0,4727	0,8877	131
15	NO-CO	4	46,8094	0,1133	0,9268	0,8422	0,6166	0,9451	362
15	NO-CO	5	43,2480	0,1120	0,9058	0,9239	0,5989	0,9197	303
15	NO-CO	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
15	NO-CO	7	33,3748	0,1347	0,9463	1,6650	0,4810	0,7877	85

(continua)

(continuação)

ID	Nome	Mês	Curva linear - Intercepto (c)	Curva linear - Inclinação (d)	Curva linear (R ²)	Curva logarítmica - Intercepto (a)	Curva logarítmica - Inclinação (b)	Curva logarítmica (R ²)	Ponto de cruzamento (l)
15	NO-CO	8	36,6943	0,1277	0,9608	1,0897	0,5761	0,9257	187
15	NO-CO	9	36,3576	0,1351	0,8183	2,0393	0,4133	0,6345	81
15	NO-CO	10	46,9436	0,1017	0,8565	1,8055	0,4574	0,8655	177
15	NO-CO	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
15	NO-CO	12	48,0312	0,1090	0,6941	1,1436	0,5639	0,7265	381
16	NO-SU	1	19,6770	0,1269	0,9656	2,1738	0,3799	0,6509	9
16	NO-SU	2	25,3832	0,1212	0,8976	1,7227	0,4489	0,7389	44
16	NO-SU	3	45,9752	0,1081	0,9145	1,7911	0,4727	0,8877	131
16	NO-SU	4	46,8094	0,1133	0,9268	0,8422	0,6166	0,9451	362
16	NO-SU	5	43,2480	0,1120	0,9058	0,9239	0,5989	0,9197	303
16	NO-SU	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
16	NO-SU	7	33,3748	0,1347	0,9463	1,6650	0,4810	0,7877	85
16	NO-SU	8	36,6943	0,1277	0,9608	1,0897	0,5761	0,9257	187
16	NO-SU	9	36,3576	0,1351	0,8183	2,0393	0,4133	0,6345	81
16	NO-SU	10	46,9436	0,1017	0,8565	1,8055	0,4574	0,8655	177
16	NO-SU	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
16	NO-SU	12	48,0312	0,1090	0,6941	1,1436	0,5639	0,7265	381
17	SE-SE	1	26,3812	0,1098	0,7763	0,1878	0,6798	0,9021	357
17	SE-SE	2	20,9868	0,1387	0,7427	-0,6425	0,8271	0,8380	563
17	SE-SE	3	41,1984	0,1233	0,8609	0,4308	0,6792	0,8541	416
17	SE-SE	4	47,9965	0,1242	0,6246	0,9046	0,6122	0,6789	440
17	SE-SE	5	42,6780	0,1368	0,7312	0,5741	0,6662	0,8212	466
17	SE-SE	6	26,1231	0,1761	0,8787	0,9015	0,6179	0,8943	117
17	SE-SE	7	30,3498	0,1355	0,8389	0,2218	0,7069	0,8904	322
17	SE-SE	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
17	SE-SE	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
17	SE-SE	10	18,1161	0,1348	0,8023	0,5633	0,6206	0,7776	120
17	SE-SE	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
17	SE-SE	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290
18	SE-SU	1	23,7195	0,1120	0,9030	-0,0974	0,7257	0,9126	314
18	SE-SU	2	20,6881	0,1388	0,7509	-0,6361	0,8256	0,8395	576
18	SE-SU	3	52,5695	0,1203	0,5311	1,0998	0,5826	0,5587	570
18	SE-SU	4	36,5192	0,1214	0,8790	0,0889	0,7232	0,9076	469
18	SE-SU	5	58,6682	0,1018	0,7443	1,1831	0,5640	0,5961	546
18	SE-SU	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
18	SE-SU	7	26,3550	0,1484	0,6081	0,1726	0,7090	0,6540	5500
18	SE-SU	8	25,5300	0,1533	0,7226	1,1504	0,5508	0,5915	115
18	SE-SU	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
18	SE-SU	10	18,4571	0,1351	0,8241	0,4794	0,6376	0,8060	131
18	SE-SU	11	22,3678	0,1286	0,9403	1,0704	0,5455	0,7179	89
18	SE-SU	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290
19	SE-CO	1	23,7195	0,1120	0,9030	-0,0974	0,7257	0,9126	314
19	SE-CO	2	20,3857	0,1390	0,7500	-0,6368	0,8253	0,8381	590
19	SE-CO	3	41,1984	0,1233	0,8609	0,4308	0,6792	0,8541	416

(continua)

(continuação)

ID	Nome	Mês	Curva linear - Intercepto (c)	Curva linear - Inclinação (d)	Curva linear (R ²)	Curva logarítmica - Intercepto (a)	Curva logarítmica - Inclinação (b)	Curva logarítmica (R ²)	Ponto de cruzamento (l)
19	SE-CO	4	36,5192	0,1214	0,8790	0,0889	0,7232	0,9076	469
19	SE-CO	5	58,6682	0,1018	0,7443	1,1831	0,5640	0,5961	546
19	SE-CO	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
19	SE-CO	7	29,0741	0,1417	0,6213	0,1805	0,7076	0,6627	5500
19	SE-CO	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
19	SE-CO	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
19	SE-CO	10	18,4571	0,1351	0,8241	0,4794	0,6376	0,8060	131
19	SE-CO	11	22,3678	0,1286	0,9403	1,0704	0,5455	0,7179	89
19	SE-CO	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290
20	SE-NO	1	23,7195	0,1120	0,9030	-0,0974	0,7257	0,9126	314
20	SE-NO	2	20,3857	0,1390	0,7500	-0,6368	0,8253	0,8381	590
20	SE-NO	3	41,1984	0,1233	0,8609	0,4308	0,6792	0,8541	416
20	SE-NO	4	36,5192	0,1214	0,8790	0,0889	0,7232	0,9076	469
20	SE-NO	5	58,6682	0,1018	0,7443	1,1831	0,5640	0,5961	546
20	SE-NO	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
20	SE-NO	7	29,0741	0,1417	0,6213	0,1805	0,7076	0,6627	5500
20	SE-NO	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
20	SE-NO	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
20	SE-NO	10	18,4571	0,1351	0,8241	0,4794	0,6376	0,8060	131
20	SE-NO	11	22,3678	0,1286	0,9403	1,0704	0,5455	0,7179	89
20	SE-NO	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290
21	SE-NE	1	23,7195	0,1120	0,9030	-0,0974	0,7257	0,9126	314
21	SE-NE	2	20,3857	0,1390	0,7500	-0,6368	0,8253	0,8381	590
21	SE-NE	3	41,1984	0,1233	0,8609	0,4308	0,6792	0,8541	416
21	SE-NE	4	36,5192	0,1214	0,8790	0,0889	0,7232	0,9076	469
21	SE-NE	5	58,6682	0,1018	0,7443	1,1831	0,5640	0,5961	546
21	SE-NE	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
21	SE-NE	7	29,0741	0,1417	0,6213	0,1805	0,7076	0,6627	5500
21	SE-NE	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
21	SE-NE	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
21	SE-NE	10	18,4571	0,1351	0,8241	0,4794	0,6376	0,8060	131
21	SE-NE	11	22,3678	0,1286	0,9403	1,0704	0,5455	0,7179	89
21	SE-NE	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290
22	SU-SU	1	16,6357	0,1082	0,8704	0,3668	0,6269	0,8903	134
22	SU-SU	2	13,3461	0,1356	0,8551	0,0235	0,7021	0,8960	122
22	SU-SU	3	20,3036	0,1376	0,8124	0,5215	0,6370	0,8472	148
22	SU-SU	4	15,3574	0,1392	0,8832	0,4829	0,6338	0,8712	86
22	SU-SU	5	18,0004	0,1329	0,8940	0,1925	0,6847	0,9056	163
22	SU-SU	6	20,9014	0,1337	0,8167	0,9942	0,5550	0,8108	91
22	SU-SU	7	25,7903	0,1210	0,7543	0,8203	0,5867	0,8712	173
22	SU-SU	8	23,9517	0,1339	0,7534	1,0067	0,5608	0,7438	118
22	SU-SU	9	27,9869	0,1269	0,7411	1,2193	0,5286	0,7908	132
22	SU-SU	10	20,3992	0,1308	0,7781	0,7597	0,5920	0,8259	114
22	SU-SU	11	25,4383	0,1218	0,7354	1,1874	0,5210	0,7441	127
22	SU-SU	12	18,8919	0,1275	0,8773	0,7481	0,5914	0,9397	91

(continua)

(continuação)

ID	Nome	Mês	Curva linear - Intercepto (c)	Curva linear - Inclinação (d)	Curva linear (R ²)	Curva logarítmica - Intercepto (a)	Curva logarítmica - Inclinação (b)	Curva logarítmica (R ²)	Ponto de cruzamento (l)
23	SU-SE	1	16,9601	0,1072	0,8641	0,3708	0,6262	0,8898	139
23	SU-SE	2	13,6719	0,1344	0,8621	0,0144	0,7037	0,8978	129
23	SU-SE	3	23,8337	0,1279	0,7543	0,5686	0,6285	0,8390	202
23	SU-SE	4	16,5600	0,1357	0,8726	0,4783	0,6348	0,8715	102
23	SU-SE	5	17,8830	0,1331	0,8974	0,1849	0,6860	0,9065	161
23	SU-SE	6	21,0532	0,1317	0,8008	1,0197	0,5490	0,7873	91
23	SU-SE	7	27,1891	0,1163	0,7243	0,8508	0,5806	0,8638	190
23	SU-SE	8	24,0033	0,1341	0,7495	1,0032	0,5616	0,7428	119
23	SU-SE	9	29,1235	0,1242	0,7232	1,2392	0,5253	0,7827	144
23	SU-SE	10	26,7472	0,1145	0,6757	0,8080	0,5829	0,7932	216
23	SU-SE	11	24,0762	0,1271	0,7174	1,1616	0,5257	0,7273	114
23	SU-SE	12	18,8919	0,1275	0,8773	0,7481	0,5914	0,9397	91
24	SU-CO	1	20,4211	0,0974	0,8227	0,3950	0,6215	0,8893	197
24	SU-CO	2	13,6719	0,1344	0,8621	0,0144	0,7037	0,8978	129
24	SU-CO	3	39,1628	0,0865	0,6302	0,7947	0,5860	0,7564	384
24	SU-CO	4	19,0299	0,1290	0,8796	0,4694	0,6364	0,8743	139
24	SU-CO	5	17,8875	0,1332	0,9036	0,1741	0,6880	0,9078	162
24	SU-CO	6	21,1816	0,1312	0,8028	1,0170	0,5496	0,7887	93
24	SU-CO	7	33,6177	0,0988	0,6496	0,8908	0,5730	0,8600	270
24	SU-CO	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
24	SU-CO	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
24	SU-CO	10	28,1616	0,1111	0,6583	0,8170	0,5813	0,7858	242
24	SU-CO	11	23,8838	0,1280	0,7300	1,1401	0,5301	0,7323	113
24	SU-CO	12	18,8919	0,1275	0,8773	0,7481	0,5914	0,9397	91
25	SU-NO	1	20,4211	0,0974	0,8227	0,3950	0,6215	0,8893	197
25	SU-NO	2	13,6719	0,1344	0,8621	0,0144	0,7037	0,8978	129
25	SU-NO	3	39,1628	0,0865	0,6302	0,7947	0,5860	0,7564	384
25	SU-NO	4	19,0299	0,1290	0,8796	0,4694	0,6364	0,8743	139
25	SU-NO	5	17,8875	0,1332	0,9036	0,1741	0,6880	0,9078	162
25	SU-NO	6	21,1816	0,1312	0,8028	1,0170	0,5496	0,7887	93
25	SU-NO	7	33,6177	0,0988	0,6496	0,8908	0,5730	0,8600	270
25	SU-NO	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
25	SU-NO	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
25	SU-NO	10	28,1616	0,1111	0,6583	0,8170	0,5813	0,7858	242
25	SU-NO	11	23,8838	0,1280	0,7300	1,1401	0,5301	0,7323	113
25	SU-NO	12	18,8919	0,1275	0,8773	0,7481	0,5914	0,9397	91
26	SU-NE	1	20,4211	0,0974	0,8227	0,3950	0,6215	0,8893	197
26	SU-NE	2	13,6719	0,1344	0,8621	0,0144	0,7037	0,8978	129
26	SU-NE	3	39,1628	0,0865	0,6302	0,7947	0,5860	0,7564	384
26	SU-NE	4	19,0299	0,1290	0,8796	0,4694	0,6364	0,8743	139
26	SU-NE	5	17,8875	0,1332	0,9036	0,1741	0,6880	0,9078	162
26	SU-NE	6	21,1816	0,1312	0,8028	1,0170	0,5496	0,7887	93
26	SU-NE	7	33,6177	0,0988	0,6496	0,8908	0,5730	0,8600	270
26	SU-NE	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421

(continua)

(continuação)

ID	Nome	Mês	Curva linear - Intercepto (c)	Curva linear - Inclinação (d)	Curva linear (R ²)	Curva logarítmica - Intercepto (a)	Curva logarítmica - Inclinação (b)	Curva logarítmica (R ²)	Ponto de cruzamento (l)
26	SU-NE	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
26	SU-NE	10	28,1616	0,1111	0,6583	0,8170	0,5813	0,7858	242
26	SU-NE	11	23,8838	0,1280	0,7300	1,1401	0,5301	0,7323	113
26	SU-NE	12	18,8919	0,1275	0,8773	0,7481	0,5914	0,9397	91
27	Santos	1	19,4521	0,1272	0,9449	-0,7211	0,8288	0,9268	439
27	Santos	2	33,1693	0,1346	0,9361	-0,5163	0,8177	0,9139	773
27	Santos	3	62,3278	0,1302	0,9323	0,6962	0,6649	0,9242	577
27	Santos	4	54,0218	0,1271	0,9132	0,6215	0,6661	0,9132	525
27	Santos	5	55,9709	0,1258	0,9225	0,4733	0,6880	0,9246	623
27	Santos	6	67,4873	0,1103	0,8130	0,6617	0,6598	0,9075	652
27	Santos	7	52,0689	0,1360	0,7970	0,1841	0,7330	0,8257	759
27	Santos	8	48,5729	0,1436	0,9423	0,2168	0,7327	0,9208	596
27	Santos	9	66,5231	0,1036	0,7155	0,6698	0,6495	0,7414	763
27	Santos	10	49,5845	0,1129	0,8725	0,0049	0,7387	0,8968	783
27	Santos	11	53,4838	0,1156	0,8702	-0,3350	0,7921	0,8793	946
27	Santos	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290
28	Paranaguá	1	23,9794	0,1023	0,9702	-0,3853	0,7611	0,9612	394
28	Paranaguá	2	27,0141	0,1242	0,9697	-0,4020	0,7885	0,9587	459
28	Paranaguá	3	39,1062	0,1297	0,9683	0,0808	0,7346	0,9372	492
28	Paranaguá	4	26,7193	0,1284	0,9546	-0,3022	0,7763	0,9352	434
28	Paranaguá	5	22,7324	0,1273	0,9543	-0,6917	0,8274	0,9157	556
28	Paranaguá	6	35,8879	0,1242	0,9301	0,4897	0,6628	0,8791	354
28	Paranaguá	7	28,9994	0,1385	0,9346	-0,1010	0,7550	0,9059	469
28	Paranaguá	8	32,9314	0,1244	0,9621	0,2624	0,6943	0,9220	374
28	Paranaguá	9	29,9091	0,1177	0,9578	0,7084	0,6151	0,8983	214
28	Paranaguá	10	23,3443	0,1280	0,9587	-0,1632	0,7505	0,9491	314
28	Paranaguá	11	30,9903	0,1072	0,9705	0,8018	0,5926	0,9077	222
28	Paranaguá	12	36,3473	0,1003	0,9507	0,2305	0,6825	0,9166	452
29	Rio Grande	1	23,7195	0,1120	0,9030	-0,0974	0,7257	0,9126	314
29	Rio Grande	2	30,8236	0,1237	0,8939	-0,0436	0,7384	0,9160	612
29	Rio Grande	3	42,3585	0,0892	0,8454	0,1972	0,6830	0,8903	584
29	Rio Grande	4	38,0910	0,0991	0,9136	0,3484	0,6638	0,9175	498
29	Rio Grande	5	31,0967	0,0981	0,6934	1,0020	0,5457	0,7961	257
29	Rio Grande	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
29	Rio Grande	7	33,8236	0,0951	0,8453	0,4101	0,6424	0,8641	475
29	Rio Grande	8	25,1721	0,1172	0,9161	0,0661	0,7036	0,8215	370
29	Rio Grande	9	25,7027	0,1212	0,9178	1,5021	0,4862	0,7844	60
29	Rio Grande	10	19,8446	0,1211	0,8342	0,0322	0,7030	0,6618	251
29	Rio Grande	11	21,6034	0,1208	0,9247	-0,7397	0,8260	0,8670	599
29	Rio Grande	12	39,4452	0,0931	0,9018	0,1776	0,6855	0,8671	568
30	Pará	1	23,7195	0,1120	0,9030	-0,0974	0,7257	0,9126	314
30	Pará	2	30,8236	0,1237	0,8939	-0,0436	0,7384	0,9160	1142
30	Pará	3	41,1984	0,1233	0,8609	0,4308	0,6792	0,8541	416
30	Pará	4	36,5192	0,1214	0,8790	0,0889	0,7232	0,9076	469
30	Pará	5	32,0424	0,1228	0,9179	-0,0832	0,7455	0,9161	442
30	Pará	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448

(continua)

(continuação)

ID	Nome	Mês	Curva linear - Intercepto (c)	Curva linear - Inclinação (d)	Curva linear (R ²)	Curva logarítmica - Intercepto (a)	Curva logarítmica - Inclinação (b)	Curva logarítmica (R ²)	Ponto de cruzamento (l)
30	Pará	7	30,3498	0,1355	0,8389	0,2218	0,7069	0,8904	322
30	Pará	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
30	Pará	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
30	Pará	10	40,6633	0,1071	0,7271	0,4862	0,6537	0,8419	484
30	Pará	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
30	Pará	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290
31	SFS	1	23,4173	0,0981	0,8383	-0,1185	0,7181	0,8960	282
31	SFS	2	28,2682	0,1093	0,9642	-0,2980	0,7607	0,9412	452
31	SFS	3	27,9588	0,1306	0,9655	-0,6770	0,8345	0,9618	633
31	SFS	4	16,2720	0,1295	0,9878	-0,7161	0,8307	0,9803	274
31	SFS	5	18,4866	0,1263	0,9887	-0,9678	0,8646	0,9873	483
31	SFS	6	34,0304	0,1245	0,9771	-0,4514	0,8037	0,9635	597
31	SFS	7	25,0303	0,1266	0,9856	-0,7144	0,8337	0,9672	577
31	SFS	8	13,9861	0,1526	0,7511	0,0427	0,7223	0,7010	103
31	SFS	9	26,9949	0,1249	0,9052	0,0368	0,7183	0,8117	417
31	SFS	10	21,6446	0,1206	0,9647	-0,8341	0,8410	0,9056	578
31	SFS	11	28,1280	0,1061	0,9217	0,4587	0,6366	0,8676	310
31	SFS	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290
32	Itaqui	1	23,7195	0,1120	0,9030	-0,0974	0,7257	0,9126	314
32	Itaqui	2	25,3186	0,1329	0,9374	-1,0170	0,8808	0,9381	934
32	Itaqui	3	52,3547	0,1253	0,8126	-0,1636	0,7728	0,8471	1084
32	Itaqui	4	37,9717	0,1330	0,8563	1,3260	0,5602	0,8896	111
32	Itaqui	5	59,6227	0,1174	0,7844	0,6175	0,6615	0,7839	735
32	Itaqui	6	41,4195	0,1377	0,8605	0,0187	0,7499	0,8942	639
32	Itaqui	7	64,2862	0,1321	0,8726	0,5366	0,6889	0,8558	740
32	Itaqui	8	55,7550	0,1377	0,8574	0,2271	0,7311	0,8799	773
32	Itaqui	9	44,1566	0,1428	0,8783	-0,0169	0,7612	0,8888	706
32	Itaqui	10	70,5792	0,1074	0,7019	1,2820	0,5658	0,6606	632
32	Itaqui	11	55,7983	0,1132	0,7614	0,4367	0,6806	0,8011	798
32	Itaqui	12	56,8758	0,1122	0,8413	0,3486	0,6942	0,8560	790
33	Porto Velho	1	9,9482	0,1423	0,9317	-1,1951	0,9000	0,9413	465
33	Porto Velho	2	30,8236	0,1237	0,8939	-0,0436	0,7384	0,9160	1169
33	Porto Velho	3	41,1984	0,1233	0,8609	0,4308	0,6792	0,8541	416
33	Porto Velho	4	36,5192	0,1214	0,8790	0,0889	0,7232	0,9076	469
33	Porto Velho	5	45,8742	0,1138	0,7241	-0,4415	0,7958	0,7916	1394
33	Porto Velho	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
33	Porto Velho	7	73,7555	0,0815	0,7913	0,5776	0,6465	0,8668	1009
33	Porto Velho	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
33	Porto Velho	9	21,4844	0,1378	0,9742	-0,7826	0,8475	0,9676	709
33	Porto Velho	10	24,6971	0,1314	0,9886	-0,6678	0,8282	0,9819	734
33	Porto Velho	11	31,0019	0,1174	0,8730	0,6668	0,6247	0,8508	225
33	Porto Velho	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290
34	Rondonópolis	1	23,7195	0,1120	0,9030	-0,0974	0,7257	0,9126	314
34	Rondonópolis	2	35,8052	0,1480	0,8703	1,6393	0,4969	0,8462	98

(continua)

(continuação)

ID	Nome	Mês	Curva linear - Intercepto (c)	Curva linear - Inclinação (d)	Curva linear (R ²)	Curva logarítmica - Intercepto (a)	Curva logarítmica - Inclinação (b)	Curva logarítmica (R ²)	Ponto de cruzamento (l)
34	Rondonópolis	3	45,9790	0,1337	0,7959	1,7634	0,4827	0,8325	157
34	Rondonópolis	4	39,0573	0,1296	0,8498	1,4047	0,5272	0,8830	170
34	Rondonópolis	5	42,3605	0,1189	0,8130	1,6118	0,4915	0,8963	170
34	Rondonópolis	6	37,2292	0,1468	0,7926	0,8643	0,6197	0,7185	295
34	Rondonópolis	7	74,4572	0,0823	0,5402	1,8773	0,4653	0,8819	430
34	Rondonópolis	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
34	Rondonópolis	9	54,9127	0,0943	0,6746	1,9890	0,4317	0,7746	233
34	Rondonópolis	10	40,6633	0,1071	0,7271	0,4862	0,6537	0,8419	484
34	Rondonópolis	11	38,9815	0,1244	0,7238	1,0921	0,5712	0,8609	257
34	Rondonópolis	12	43,8321	0,1254	0,7479	1,8103	0,4679	0,9230	136
35	FNS	1	16,4676	0,1279	0,8213	1,3143	0,5183	0,7352	24
35	FNS	2	22,6248	0,1534	0,8674	1,6253	0,4912	0,7896	30
35	FNS	3	27,9150	0,1740	0,9143	1,7543	0,4802	0,8108	44
35	FNS	4	36,5192	0,1214	0,8790	0,0889	0,7232	0,9076	469
35	FNS	5	24,8966	0,1663	0,9129	1,5693	0,4973	0,8835	47
35	FNS	6	25,7680	0,1666	0,8454	0,7734	0,6309	0,7080	142
35	FNS	7	23,8775	0,1693	0,9362	1,6663	0,4918	0,8436	32
35	FNS	8	38,3237	0,1279	0,7394	1,7809	0,4574	0,8225	129
35	FNS	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
35	FNS	10	52,6411	0,0977	0,6554	1,6881	0,4707	0,5941	5500
35	FNS	11	24,4817	0,1539	0,8291	0,9113	0,5935	0,8372	125
35	FNS	12	32,6650	0,1357	0,6810	1,6150	0,4831	0,8079	96
36	Ferroeste	1	14,6077	0,1195	0,9890	0,4673	0,6291	0,9371	68
36	Ferroeste	2	20,4655	0,1251	0,9647	0,6360	0,6115	0,9267	123
36	Ferroeste	3	21,0671	0,1384	0,9025	0,8488	0,6012	0,8404	76
36	Ferroeste	4	10,4377	0,1398	0,9371	0,3127	0,6587	0,9452	44
36	Ferroeste	5	8,4115	0,1451	0,9429	-0,7921	0,8351	0,9448	173
36	Ferroeste	6	12,4552	0,1417	0,9444	0,0284	0,7092	0,8466	93
36	Ferroeste	7	15,7378	0,1447	0,9655	0,3463	0,6722	0,9454	85
36	Ferroeste	8	11,4552	0,1620	0,9734	0,7953	0,6015	0,9273	25
36	Ferroeste	9	21,5816	0,1377	0,9348	0,6768	0,6236	0,9062	107
36	Ferroeste	10	31,6288	0,0933	0,5570	0,8504	0,5685	0,8561	287
36	Ferroeste	11	18,9597	0,1336	0,9346	0,6917	0,6093	0,9048	90
36	Ferroeste	12	15,5428	0,1409	0,9788	0,2137	0,6957	0,9699	88
37	Triângulo	1	16,5202	0,1279	0,9267	-0,2534	0,7563	0,9392	183
37	Triângulo	2	17,2242	0,1368	0,9512	-0,4350	0,7927	0,9363	245
37	Triângulo	3	41,0726	0,1296	0,9307	0,4834	0,6783	0,9322	356
37	Triângulo	4	38,2610	0,1256	0,9458	0,3834	0,6856	0,9195	375
37	Triângulo	5	29,9920	0,1235	0,9460	0,4064	0,6690	0,9008	264
37	Triângulo	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
37	Triângulo	7	34,5627	0,1280	0,8548	0,2252	0,7039	0,8164	438
37	Triângulo	8	32,7958	0,1288	0,9132	0,7878	0,6167	0,9087	218
37	Triângulo	9	31,4653	0,1333	0,8964	0,1215	0,7208	0,8543	401
37	Triângulo	10	37,5700	0,1148	0,8782	0,3773	0,6755	0,9011	400
37	Triângulo	11	30,9062	0,1240	0,9338	-0,6135	0,8209	0,9257	733
37	Triângulo	12	31,6714	0,1158	0,8735	0,4500	0,6575	0,8824	290

(continua)

(conclusão)

ID	Nome	Mês	Curva linear - Intercepto (c)	Curva linear - Inclinação (d)	Curva linear (R ²)	Curva logarítmica - Intercepto (a)	Curva logarítmica - Inclinação (b)	Curva logarítmica (R ²)	Ponto de cruzamento (l)
38	Bahia portos	1	30,6990	0,1145	0,9556	1,4488	0,5146	0,8822	75
38	Bahia portos	2	22,2536	0,1258	0,9356	0,7811	0,6036	0,8109	95
38	Bahia portos	3	41,1984	0,1233	0,8609	0,4308	0,6792	0,8541	416
38	Bahia portos	4	36,5192	0,1214	0,8790	0,0889	0,7232	0,9076	469
38	Bahia portos	5	32,0424	0,1228	0,9179	-0,0832	0,7455	0,9161	442
38	Bahia portos	6	40,7930	0,1162	0,7245	0,5252	0,6562	0,8289	448
38	Bahia portos	7	30,3498	0,1355	0,8389	0,2218	0,7069	0,8904	322
38	Bahia portos	8	39,7056	0,1160	0,7446	0,6116	0,6408	0,8101	421
38	Bahia portos	9	40,5808	0,1125	0,7465	0,8800	0,5993	0,8249	324
38	Bahia portos	10	40,4220	0,1474	0,7794	0,9599	0,6166	0,8314	223
38	Bahia portos	11	24,3894	0,1463	0,9706	1,5251	0,5069	0,8130	41
38	Bahia portos	12	45,4335	0,1040	0,9526	1,4493	0,5206	0,9291	187

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ESALQ-LOG (2020a)

APÊNDICE J – *Script (Software GAMS) do modelo de otimização utilizado no cenário RTAP*

\$ONECHO > parametros.txt

```

set = O rng = set!b1:b1000000      rdim = 1
set = A rng = set!d1:d1000000      rdim = 1
set = D rng = set!f1:f1000000      rdim = 1
set = P rng = set!p1:p1000000      rdim = 1
set = E rng = set!l1:l1000000      rdim = 1
set = M rng = set!n1:n1000000      rdim = 1
set = FRODOOA rng = Foa!a1:c1000000  rdim = 3
set = FRODOAD rng = Fad!a1:c1000000  rdim = 3
set = FRODO rng = Fod!a1:c1000000   rdim = 3
set = FMULT rng = Foedm!a1:d1000000  rdim = 4
set = FMULTA rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
par = OFERTA rng = of!a1:d1000000    rdim = 3
par = DEMANDA rng = dem!a1:d1000000  rdim = 3
par = DEMANDAT rng = demtotal!a1:c100000 rdim = 2
par = DEMANDAMAX rng = demmmmax!a1:c10000 rdim = 2
par = CRODO rng = Fod!a1:d1000000    rdim = 3
par = CMULT rng = Foedm!a1:e1000000  rdim = 4
par = CRODOOA rng = Foa!a1:d1000000  rdim = 3
par = CRODOAD rng = Fad!a1:d1000000  rdim = 3
par = CMULTA rng = Foedm!a1:e1000000 rdim = 4
par = ESTINI rng = Eini!a1:c1000000  rdim = 2
par = ESTFIN rng = Efin!a1:c1000000  rdim = 2
par = CAPE rng = CapE!a1:b1000000    rdim = 1
par = CAPEM rng = CapEM!a1:b1000000  rdim = 1
par = CAPA rng = CapA!a1:b1000000    rdim = 1
par = CARME rng = CarmE!a1:c1000000  rdim = 2
par = CARM rng = CarmM!a1:c1000000   rdim = 2
par = CPORTO rng = Cpo!a1:d1000000   rdim = 3

```

\$OFFECHO

\$CALL GDXXRW setss4.xlsx @parametros.txt

\$GDXXIN setss4.gdx

SETS

O	Regioes Produtoras
A	Armazens
D	Destino
P	Produtos
E	Terminal de transbordo de entrada
M	Meses

FMULT(O,E,D,M) Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação

FMULTA(A,E,D,M) Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação com
utilização de armazenagem

;

\$LOAD O A D P E M FMULT FMULTA

PARAMETERS

OFERTA(O,P,M) Oferta das mesos produtoras

DEMANDA(D,P,M) Demanda do porto e regiões consumidoras

CRODO(O,D,M) Custo total do corredor rodoviario direto
 CMULT(O,E,D,M) Custo total do corredor multimodal direto
 CRODOOA(O,A,M) Custo da origem ao armazem
 CRODOAD(A,D,M) Custo do corredor rodoviario armazem destino
 CMULTA(A,E,D,M) Custo do corredor multimodal com armazem
 ESTINI(A,P) Estoque inicial nas mesorregiões
 ESTFIN(A,P) Estoque final nas mesorregioes
 CAPE(E) Capacidade operacional dos terminais de transbordo
 CAPEM(E) Capacidade máxima mensal dos terminais de transbordo
 CAPA(A) Capacidade de armazenagem de cada mesorregião
 CARME(A,P) Custo fixo de entrada nos armazéns
 CARMMA(A,P) Custo variável mensal de estoque
 CPORTO(D,P,M) Custo portuario
 ;

\$LOAD OFERTA DEMANDA CRODO CMULT CRODOOA CRODOAD CMULTA ESTINI ESTFIN CAPE
 CAPEM CAPA CARME CARMMA CPORTO

VARIABLES

Z Funcao objetivo
 VRODO(O,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviario direto
 VMULT(O,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal direto
 VRODOOA(O,A,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário origem a armazem
 VRODOAD(A,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário armazem a destino
 VMULTA(A,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal com armazém
 ESTOQUE(A,P,M) Estoque na mesorregiao 'a' do produto 'p' no mês 'm'
 CPOR(D,P,M) Variável de custo portuário

*VARIABLES AUXILIARES

TRANSPORTERODO
 TRANSPORTEMULT
 TRANSPORTERODOOA
 TRANSPORTERODOAD
 TRANSPORTEMULTA
 ARMAZENAGEM
 PORTUARIOTOTAL

;

POSITIVE VARIABLES VRODO, VMULT, VRODOOA, VRODOAD, VMULTA, ESTOQUE, CPOR,
 TRANSPORTERODO, TRANSPORTEMULT, TRANSPORTERODOOA, TRANSPORTERODOAD,
 TRANSPORTEMULTA, ARMAZENAGEM, PORTUARIOTOTAL;

EQUATIONS

FOB Equacao de custo total do problema
 EST1 Estoque no primeiro mes
 ESTM Estoque nos meses posteriores
 EST12 Estoque no ultimo mes

DEMIGUAL Demanda
 OFER Oferta das regioes produtoras
 VAL1 Equilibrio de estoque no mes 1
 VALM Equilibrio de estoque nos meses posteriores
 CAPOPE Capacidade operacional dos terminais

CAPOPEM Capacidade operacional dos terminais (mensal)
 CAPARM Capacidade de armazenagem
 CPORTUARIO Custo portuário

EQ001
 EQ002
 EQ003
 EQ004
 EQ005
 EQ006
 EQ007
 VITORIA
 ;

FOB.. $Z = E = \text{SUM}((O,D,P,M), \text{VRODO}(O,D,P,M)*\text{CRODO}(O,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,E,D,P,M), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)*\text{CMULT}(O,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CRODOOA}(O,A,M))$
 $+ \text{SUM}((A,D,P,M), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)*\text{CRODOAD}(A,D,M))$
 $+ \text{SUM}((A,E,D,P,M), \text{MULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)*\text{CMULTA}(A,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CARME}(A,P))$
 $+ \text{SUM}((A,P,M), \text{ESTOQUE}(A,P,M)*\text{CARMM}(A,P))$
 $+ \text{SUM}((D,P,M), \text{CPOR}(D,P,M));$

EST1(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,'1') = E = \text{ESTINI}(A,P) + \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)));$

ESTM(A,P,M)\$ (ORD(M)GT 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{ESTOQUE}(A,P,M-1) + \text{SUM}((O),$
 $\text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)));$

EST12(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 12).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{ESTFIN}(A,P);$

DEMIGUAL(D,P,M).. $\text{SUM}((O), \text{VRODO}(O,D,P,M)) + \text{SUM}((O,E),$
 $\text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((A), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((A,E),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) = E = \text{DEMANDA}(D,P,M);$

OFER(O,P,M).. $\text{SUM}((A), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) + \text{SUM}((D), \text{VRODO}(O,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) = E = \text{OFERTA}(O,P,M);$

VAL1(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 1).. $\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((E,D),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) = L = \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) + \text{ESTINI}(A,P);$

VALM(A,P,M)\$ (ORD(M)GT 1).. $\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((E,D),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) = L = \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) + \text{ESTOQUE}(A,P,M-1);$

CAPOPE(E).. $\text{SUM}((O,D,P,M), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) + \text{SUM}((A,D,P,M),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) = L = \text{CAPE}(E);$

CAPOPEM(E,M).. $\text{SUM}((O,D,P), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) + \text{SUM}((A,D,P),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) = L = \text{CAPEM}(E);$

CAPARM(A,M).. $\text{SUM}((P), \text{ESTOQUE}(A,P,M)) = L = \text{CAPA}(A);$

CPORTUARIO(D,P,M).. $(\text{SUM}((O), \text{VRODO}(O,D,P,M)) + \text{SUM}((O,E),$
 $\text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) + \text{SUM}((A), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((A,E),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M))) * \text{CPORTO}(D,P,M) = E = \text{CPOR}(D,P,M);$

*Equações para auxílio

EQ001.. $\text{TRANSPORTERODO} = E = \text{SUM}((O,D,P,M),$
 $\text{VRODO}(O,D,P,M)*\text{CRODO}(O,D,M));$


```

EQ002..                                TRANSPORTEMULT                =E=  SUM((O,E,D,P,M),
VMULT(O,E,D,P,M)$FMULT(O,E,D,M)*CMULT(O,E,D,M));
EQ003..                                TRANSPORTERODOOA            =E=  SUM((O,A,P,M),
VRODOOA(O,A,P,M)*CRODOOA(O,A,M));
EQ004..                                TRANSPORTERODOAD           =E=  SUM((A,D,P,M),
VRODOAD(A,D,P,M)*CRODOAD(A,D,M));
EQ005..                                TRANSPORTEMULTA            =E=  SUM((A,E,D,P,M),
VMULTA(A,E,D,P,M)$FMULTA(A,E,D,M)*CMULTA(A,E,D,M));
EQ006..                                ARMAZENAGEM                =E=  SUM((O,A,P,M),
VRODOOA(O,A,P,M)*CARME(A,P)) + SUM((A,P,M), ESTOQUE(A,P,M)*CARM(A,P));
EQ007..                                PORTUARIOTOTAL            =E=  SUM((D,P,M), CPOR(D,P,M));

```

```

VITORIA(D)$ (ORD(D)EQ 39)..            SUM((O,P,M), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((A,P,M),
VRODOAD(A,D,P,M)) =E= 0

```

```
;
```

```
*****
```

```
MODEL TRANSBORDO /ALL/;
```

```
SOLVE TRANSBORDO USING LP MINIMIZING Z;
```

```
DISPLAY VRODO.L, VMULT.L, VRODOOA.L, VRODOAD.L, VMULTA.L, ESTOQUE.L
```

```
;
```

```
EXECUTE_UNLOAD "RTAP.gdx"
```

```

VRODO.L, VMULT.L, VRODOOA.L, VRODOAD.L, VMULTA.L, ESTOQUE.L,
VRODO.M, VMULT.M, VRODOOA.M, VRODOAD.M, VMULTA.M, ESTOQUE.M,
EST1.L, EST1.M, ESTM.L, ESTM.M, EST12.L, EST12.M
DEMIGUAL.L, DEMIGUAL.M, OFER.L, OFER.M,
VAL1.L, VAL1.M, VALM.L, VALM.M,
CAPOPE.L, CAPOPE.M,
CAPOPEM.L, CAPOPEM.M,
CAPARM.L, CAPARM.M
CPORTUARIO.L, CPORTUARIO.M,
TRANSPORTERODO.L, TRANSPORTEMULT.L, TRANSPORTERODOOA.L,
TRANSPORTERODOAD.L, TRANSPORTEMULTA.L,
ARMAZENAGEM.L, PORTUARIOTOTAL.L

```

```
;
```

```

EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = VRODO.L rng = vrodo!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = VMULT.L rng = vmult!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = VRODOOA.L rng = vrodoa!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = VRODOAD.L rng = vrodoad!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = VMULTA.L rng = vmulta!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = ESTOQUE.L rng = estoque!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = VRODO.M rng = vrodoM!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = VMULT.M rng = vmultM!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = VRODOOA.M rng = vrodoaM!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = VRODOAD.M rng = vrodoadM!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = VMULTA.M rng = vmultaM!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = ESTOQUE.M rng = estoqueM!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = EST1.L rng = est1L!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = EST1.M rng = est1M!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = ESTM.L rng = estmL!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = ESTM.M rng = estmM!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = EST12.L rng = est12L!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = EST12.M rng = est12M!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = DEMIGUAL.L rng = demL!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = DEMIGUAL.M rng = demM!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = OFER.L rng = oferL!a1:z100000000 rdim = 3';

```

```

EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = OFER.M rng = oferM!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = VAL1.L rng = val1L!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = VAL1.M rng = val1M!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = VALM.L rng = valmL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = VALM.M rng = valmM!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = CAPOPE.L rng = capopeL!a1:z100000000 rdim = 1'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = CAPOPE.M rng = capopeM!a1:z100000000 rdim = 1'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = CAPOPEM.L rng = capopemL!a1:z100000000 rdim = 1'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = CAPOPEM.M rng = capopemM!a1:z100000000 rdim = 1'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = CAPARM.L rng = caparmL!a1:z100000000 rdim = 2'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = CAPARM.M rng = caparmM!a1:z100000000 rdim = 2'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = CPORTUARIO.L rng = cportL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx EQU = CPORTUARIO.M rng = cportM!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = TRANSPORTERODO rng = SUMMARY!a1:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = TRANSPORTEMULT rng = SUMMARY!a2:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = TRANSPORTERODOOA rng = SUMMARY!a3:z100000000 rdim =
0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = TRANSPORTERODOAD rng = SUMMARY!a4:z100000000 rdim =
0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = TRANSPORTEMULTA rng = SUMMARY!a5:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = ARMAZENAGEM rng = SUMMARY!a6:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAP.gdx var = PORTUARIOTOTAL rng = SUMMARY!a7:z100000000 rdim = 0'

```

APÊNDICE K – *Script (Software GAMS) do modelo de otimização utilizado no cenário ATAP*

\$ONECHO > parametros.txt

```

set = O rng = set!b1:b1000000      rdim = 1
set = A rng = set!d1:d1000000      rdim = 1
set = D rng = set!f1:f1000000      rdim = 1
set = P rng = set!p1:p1000000      rdim = 1
set = E rng = set!l1:l1000000      rdim = 1
set = M rng = set!n1:n1000000      rdim = 1
set = FRODOOA rng = Foa!a1:c1000000  rdim = 3
set = FRODOAD rng = Fad!a1:c1000000  rdim = 3
set = FRODO rng = Fod!a1:c1000000   rdim = 3
set = FMULT rng = Foedm!a1:d1000000  rdim = 4
set = FMULTA rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
par = OFERTA rng = of!a1:d1000000    rdim = 3
par = DEMANDA rng = dem!a1:d1000000  rdim = 3
par = DEMANDAT rng = demtotal!a1:c100000 rdim = 2
par = DEMANDAMAX rng = demmmax!a1:c10000 rdim = 2
par = CRODO rng = Fod!a1:d1000000    rdim = 3
par = CMULT rng = Foedm!a1:e1000000  rdim = 4
par = CRODOOA rng = Foa!a1:d1000000  rdim = 3
par = CRODOAD rng = Fad!a1:d1000000  rdim = 3
par = CMULTA rng = Foedm!a1:e1000000  rdim = 4
par = ESTINI rng = EiniT!a1:b1000000  rdim = 1
par = ESTFIN rng = EfinT!a1:b1000000  rdim = 1
par = CAPE rng = CapE!a1:b1000000    rdim = 1
par = CAPA rng = CapA!a1:b1000000    rdim = 1
par = CARME rng = CarmE!a1:c1000000  rdim = 2
par = CARMME rng = CarmM!a1:c1000000  rdim = 2
par = CPORTO rng = Cpo!a1:d1000000   rdim = 3

```

\$OFFECHO

\$CALL GDXXRW setss4.xlsx @parametros.txt

\$GDXIN setss4.gdx

SETS

O Regioes Produtoras

A Armazens

D Destino

P Produtos

E Terminal de transbordo de entrada

M Meses

FMULT(O,E,D,M) Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação

FMULTA(A,E,D,M) Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação com
utilização de armazenagem

;

\$LOAD O A D P E M FMULT FMULTA

PARAMETERS

OFERTA(O,P,M) Oferta das mesos produtoras
 DEMANDAT(D,P) Demanda do porto e regiões consumidoras
 DEMANDAMAX(D,P) Demanda máxima do porto e regiões consumidoras
 CRODO(O,D,M) Custo total do corredor rodoviario direto
 CMULT(O,E,D,M) Custo total do corredor multimodal direto
 CRODOOA(O,A,M) Custo da origem ao armazem
 CRODOAD(A,D,M) Custo do corredor rodoviario armazem destino
 CMULTA(A,E,D,M) Custo do corredor multimodal com armazem
 ESTINI(P) Estoque inicial nas mesorregiões
 ESTFIN(P) Estoque final nas mesorregiões
 CAPE(E) Capacidade operacional dos terminais de transbordo
 CAPA(A) Capacidade de armazenagem de cada mesorregião
 CARME(A,P) Custo fixo de entrada nos armazéns
 CARM(M,A,P) Custo variável mensal de estoque
 CPORTO(D,P,M) Custo portuario

;

\$LOAD OFERTA DEMANDAT DEMANDAMAX CRODO CMULT CRODOOA CRODOAD CMULTA
 ESTINI ESTFIN CAPE CAPA CARME CARM CPORTO

VARIABLES

Z Funcao objetivo

Y(A)

VRODO(O,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviario direto
 VMULT(O,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal direto
 VRODOOA(O,A,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário origem a armazem
 VRODOAD(A,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário armazem a destino
 VMULTA(A,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal com armazém
 ESTOQUE(A,P,M) Estoque na mesorregiao 'a' do produto 'p' no mês 'm'
 CPOR(D,P,M) Variável de custo portuario
 VESTINI(A,P) Variável de Estoque inicial por mesorregião armazenadora
 VESTFIN(A,P) Variável de Estoque final por mesorregião armazenadora

*VARIABLES AUXILIARES

TRANSPORTERODO
 TRANSPORTEMULT
 TRANSPORTERODOOA
 TRANSPORTERODOAD
 TRANSPORTEMULTA
 ARMAZENAGEM
 PORTUARIOTOTAL

;

POSITIVE VARIABLES VRODO, VMULT, VRODOOA, VRODOAD, VMULTA, ESTOQUE, CPOR,
 VESTINI, VESTFIN, TRANSPORTERODO, TRANSPORTEMULT, TRANSPORTERODOOA,
 TRANSPORTERODOAD, TRANSPORTEMULTA, ARMAZENAGEM, PORTUARIOTOTAL;
 BINARY VARIABLES Y;

EQUATIONS

FOB	Equacao de custo total do problema
EST1	Estoque no primeiro mes
ESTM	Estoque nos meses posteriores
EST12	Estoque no ultimo mes
VEST1	Estoque inicial
VEST12	Estoque final
DEM	Demanda
DEMMAX	Demanda máxima
OFER	Oferta das regioes produtoras
VAL1	Equilibrio de estoque no mes 1
VALM	Equilibrio de estoque nos meses posteriores
CAPOPE	Capacidade operacional dos terminais
CAPARM	Capacidade de armazenagem
CPORTUARIO	Equacao de custo portuário

EQ001
EQ002
EQ003
EQ004
EQ005
EQ006
EQ007

VITORIA

;

FOB.. $Z = E = \text{SUM}((O,D,P,M), \text{VRODO}(O,D,P,M)*\text{CRODO}(O,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,E,D,P,M), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)*\text{CMULT}(O,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CRODOOA}(O,A,M))$
 $+ \text{SUM}((A,D,P,M), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)*\text{CRODOAD}(A,D,M))$
 $+ \text{SUM}((A,E,D,P,M), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)*\text{CMULTA}(A,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CARME}(A,P))$
 $+ \text{SUM}((A,P,M), \text{ESTOQUE}(A,P,M)*\text{CARMM}(A,P))$
 $+ \text{SUM}((D,P,M), \text{CPOR}(D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((A), Y(A))*0.00000001$

;

EST1(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,'1') = E = \text{VESTINI}(A,P) + \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)))$;

ESTM(A,P,M)\$ (ORD(M)GT 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{ESTOQUE}(A,P,M-1) + \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)))$;

EST12(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 12).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{VESTFIN}(A,P)$;

VEST1(P).. $SUM((A), VESTINI(A,P)) =E= ESTINI(P);$

VEST12(P).. $SUM((A), VESTFIN(A,P)) =E= ESTFIN(P);$

DEM(D,P).. $SUM((O,M), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((O,E,M),$
 $VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M))$
 $+ SUM((A,M), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((A,E,M),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =E= DEMANDAT(D,P);$

DEMMAX(D,P,M).. $SUM((O), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((O,E),$
 $VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M))$
 $+ SUM((A), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((A,E),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= DEMANDAMAX(D,P);$

OFER(O,P,M).. $SUM((A), VRODOOA(O,A,P,M)) + SUM((D), VRODO(O,D,P,M))$
 $+ SUM((E,D), VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) =E= OFERTA(O,P,M);$

VAL1(A,P,M)\\$(ORD(M)EQ 1).. $SUM((D), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((E,D),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= SUM((O), VRODOOA(O,A,P,M)) + VESTINI(A,P);$

VALM(A,P,M)\\$(ORD(M)GT 1).. $SUM((D), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((E,D),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= SUM((O), VRODOOA(O,A,P,M)) + ESTOQUE(A,P,M-1);$

CAPOPE(E).. $SUM((O,D,P,M), VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) + SUM((A,D,P,M),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= CAPE(E);$

CAPARM(A,M).. $SUM((P), ESTOQUE(A,P,M)) =L= CAPA(A)*Y(A);$

CPORTUARIO(D,P,M).. $(SUM((O), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((O,E),$
 $VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) + SUM((A), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((A,E),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M))) * CPORTO(D,P,M) =E= CPOR(D,P,M);$

*Equações para auxílio

EQ001.. $TRANSPORTERODO =E= SUM((O,D,P,M),$
 $VRODO(O,D,P,M)*CRODO(O,D,M));$

EQ002.. $TRANSPORTEMULT =E= SUM((O,E,D,P,M),$
 $VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)*CMULT(O,E,D,M));$

EQ003.. $TRANSPORTERODOOA =E= SUM((O,A,P,M),$
 $VRODOOA(O,A,P,M)*CRODOOA(O,A,M));$

EQ004.. $TRANSPORTERODOAD =E= SUM((A,D,P,M),$
 $VRODOAD(A,D,P,M)*CRODOAD(A,D,M));$

EQ005.. $TRANSPORTEMULTA =E= SUM((A,E,D,P,M),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)*CMULTA(A,E,D,M));$

EQ006.. $ARMAZENAGEM =E= SUM((O,A,P,M),$
 $VRODOOA(O,A,P,M)*CARME(A,P)) + SUM((A,P,M), ESTOQUE(A,P,M)*CARM(A,P));$

EQ007.. $PORTUARIOTOTAL =E= SUM((D,P,M), CPOR(D,P,M));$

VITORIA(D)\\$(ORD(D)EQ 39).. $SUM((O,P,M), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((A,P,M),$
 $VRODOAD(A,D,P,M)) =E= 0$

;

MODEL TRANSBORDO /ALL/;

SOLVE TRANSBORDO USING MIP MINIMIZING Z;

EXECUTE_UNLOAD "ATAP.gdx"

VRODO.L, VMULT.L, VRODOOA.L, VRODOAD.L, VMULTA.L, ESTOQUE.L,
 EST1.L, ESTM.L, EST12.L,
 DEM.L, DEMMAX.L, OFER.L,
 VAL1.L, VALM.L,
 CAPOPE.L,
 CAPARM.L,
 Y.L,
 CPORTUARIO.L,
 TRANSPORTERODO.L, TRANSPORTEMULT.L, TRANSPORTERODOOA.L,
 TRANSPORTERODOAD.L, TRANSPORTEMULTA.L,
 ARMAZENAGEM.L, PORTUARIOTOTAL.L

;

EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx var = VRODO.L rng = vrodo!a1:z100000000 rdim = 4';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx var = VMULT.L rng = vmult!a1:z100000000 rdim = 5';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx var = VRODOOA.L rng = vrodoa!a1:z100000000 rdim = 4';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx var = VRODOAD.L rng = vrodoad!a1:z100000000 rdim = 4';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx var = VMULTA.L rng = vmulta!a1:z100000000 rdim = 5';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx var = ESTOQUE.L rng = estoque!a1:z100000000 rdim = 3';

EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx EQU = EST1.L rng = est1L!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx EQU = ESTM.L rng = estmL!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx EQU = EST12.L rng = est12L!a1:z100000000 rdim = 3'

EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx EQU = DEM.L rng = demL!a1:z100000000 rdim = 2'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx EQU = DEMMAX.L rng = demL!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx EQU = OFER.L rng = oferL!a1:z100000000 rdim = 3'

EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx EQU = VAL1.L rng = val1L!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx EQU = VALM.L rng = valmL!a1:z100000000 rdim = 3'

EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx EQU = CAPOPE.L rng = capopeL!a1:z100000000 rdim = 1'

EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx EQU = CAPARM.L rng = caparmL!a1:z100000000 rdim = 2'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx VAR = Y.L rng = y!a1:z100000000 rdim = 1'

EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx EQU = CPORTUARIO.L rng = cportL!a1:z100000000 rdim = 3'

EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx var = TRANSPORTERODO rng = SUMMARY!a1:z100000000 rdim = 0'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx var = TRANSPORTEMULT rng = SUMMARY!a2:z100000000 rdim = 0'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx var = TRANSPORTERODOOA rng = SUMMARY!a3:z100000000 rdim = 0'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx var = TRANSPORTERODOAD rng = SUMMARY!a4:z100000000 rdim = 0'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx var = TRANSPORTEMULTA rng = SUMMARY!a5:z100000000 rdim = 0'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx var = ARMAZENAGEM rng = SUMMARY!a6:z100000000 rdim = 0'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAP.gdx var = PORTUARIOTOTAL rng = SUMMARY!a7:z100000000 rdim = 0'

APÊNDICE L – *Script (Software GAMS) do modelo de otimização utilizado no cenário LTAP*

\$ONECHO > parametros.txt

```

set = O rng = set!b1:b1000000      rdim = 1
set = A rng = set!d1:d1000000      rdim = 1
set = D rng = set!f1:f1000000      rdim = 1
set = P rng = set!p1:p1000000      rdim = 1
set = E rng = set!l1:l1000000      rdim = 1
set = M rng = set!n1:n1000000      rdim = 1
set = EXP rng = set!h1:h1000000    rdim = 1
set = CON rng = set!j1:j1000000    rdim = 1
set = FRODOOA rng = Foa!a1:c1000000 rdim = 3
set = FRODOAD rng = Fad!a1:c1000000 rdim = 3
set = FRODO rng = Fod!a1:c1000000  rdim = 3
set = FMULT rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
set = FMULTA rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
par = OFERTA rng = of!a1:d1000000   rdim = 3
par = DEMANDA rng = dem!a1:d1000000  rdim = 3
par = DEMANDAT rng = demtotal!a1:c1000000 rdim = 2
par = DEMANDAMAX rng = demmmmax!a1:c100000 rdim = 2
par = DEMANO rng = demano!a1:b1000000 rdim = 1
par = CRODO rng = Fod!a1:d1000000   rdim = 3
par = CMULT rng = Foedm!a1:e1000000  rdim = 4
par = CRODOOA rng = Foa!a1:d1000000  rdim = 3
par = CRODOAD rng = Fad!a1:d1000000  rdim = 3
par = CMULTA rng = Foedm!a1:e1000000  rdim = 4
par = ESTINI rng = EiniT!a1:b1000000  rdim = 1
par = ESTFIN rng = EfinT!a1:b1000000  rdim = 1
par = CAPE rng = CapE!a1:b1000000    rdim = 1
par = CAPA rng = CapA!a1:b1000000    rdim = 1
par = CARME rng = CarmE!a1:c1000000   rdim = 2
par = CARMM rng = CarmM!a1:c1000000   rdim = 2
par = CPORTO rng = Cpo!a1:d1000000    rdim = 3

```

\$OFFECHO

\$CALL GDXXRW setss6.xlsx @parametros.txt

\$GDXIN setss6.gdx

SETS

```

O          Regioes Produtoras
A          Armazens
D          Destino
P          Produtos
E          Terminal de transbordo de entrada
M          Meses
FMULT(O,E,D,M)    Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação
FMULTA(A,E,D,M)   Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação com
utilização de armazenagem
EXP(D)
CON(D)
;

```

\$LOAD O A D P E M FMULT FMULTA EXP CON

PARAMETERS

OFERTA(O,P,M) Oferta das mesos produtoras
 DEMANDAT(D,P) Demanda do porto e regiões consumidoras
 CRODO(O,D,M) Custo total do corredor rodoviario direto
 CMULT(O,E,D,M) Custo total do corredor multimodal direto
 CRODOOA(O,A,M) Custo da origem ao armazem
 CRODOAD(A,D,M) Custo do corredor rodoviario armazem destino
 CMULTA(A,E,D,M) Custo do corredor multimodal com armazem
 ESTINI(P) Estoque inicial nas mesorregiões
 ESTFIN(P) Estoque final nas mesorregioes
 CARME(A,P) Custo fixo de entrada nos armazéns
 CARMM(A,P) Custo variável mensal de estoque
 CPORTO(D,P,M) Custo portuario

;

\$LOAD OFERTA DEMANDAT CRODO CMULT CRODOOA CRODOAD CMULTA ESTINI ESTFIN
 CARME CARMM CPORTO

VARIABLES

Z Funcao objetivo

Y(A)

VRODO(O,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviario direto
 VMULT(O,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal direto
 VRODOOA(O,A,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário origem a armazem
 VRODOAD(A,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário armazem a destino
 VMULTA(A,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal com armazém
 ESTOQUE(A,P,M) Estoque na mesorregiao 'a' do produto 'p' no mês 'm'
 CPOR(D,P,M) Variável de custo portuario
 VESTINI(A,P) Variável de Estoque inicial por mesorregião armazenadora
 VESTFIN(A,P) Variável de Estoque final por mesorregião armazenadora

*VARIABLES AUXILIARES

TRANSPORTERODO
 TRANSPORTEMULT
 TRANSPORTERODOOA
 TRANSPORTERODOAD
 TRANSPORTEMULTA
 ARMAZENAGEM
 PORTUARIOTOTAL

;

POSITIVE VARIABLES VRODO, VMULT, VRODOOA, VRODOAD, VMULTA, ESTOQUE, CPOR,
 VESTINI, VESTFIN, TRANSPORTERODO, TRANSPORTEMULT, TRANSPORTERODOOA,
 TRANSPORTERODOAD, TRANSPORTEMULTA, ARMAZENAGEM, PORTUARIOTOTAL;
 BINARY VARIABLES Y;

EQUATIONS

FOB Equacao de custo total do problema

EST1 Estoque no primeiro mes
 ESTM Estoque nos meses posteriores
 EST12 Estoque no ultimo mes
 VEST1 Estoque inicial
 VEST12 Estoque final
 DEMANUAL1 Demanda total no ano
 DEMANUAL2
 OFER Oferta das regioes produtoras
 VAL1 Equilibrio de estoque no mes 1
 VALM Equilibrio de estoque nos meses posteriores
 CAPARM Capacidade de armazenagem
 CPORTUARIO Equacao de custo portuário

EQ001

EQ002

EQ003

EQ004

EQ005

EQ006

EQ007

VITORIA

;

FOB.. $Z = E = \text{SUM}((O,D,P,M), \text{VRODO}(O,D,P,M)*\text{CRODO}(O,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,E,D,P,M), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)*\text{CMULT}(O,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CRODOOA}(O,A,M))$
 $+ \text{SUM}((A,D,P,M), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)*\text{CRODOAD}(A,D,M))$
 $+ \text{SUM}((A,E,D,P,M), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)*\text{CMULTA}(A,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CARME}(A,P))$
 $+ \text{SUM}((A,P,M), \text{ESTOQUE}(A,P,M)*\text{CARM}(A,P))$
 $+ \text{SUM}((D,P,M), \text{CPOR}(D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((A), Y(A))*0.00000001$

;

EST1(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,'1') = E = \text{VESTINI}(A,P) + \text{SUM}((O),$
 $\text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)));$

ESTM(A,P,M)\$ (ORD(M)GT 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{ESTOQUE}(A,P,M-1) + \text{SUM}((O),$
 $\text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((E,D),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)));$

EST12(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 12).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{VESTFIN}(A,P);$

VEST1(P).. $\text{SUM}((A), \text{VESTINI}(A,P)) = E = \text{ESTINI}(P);$

VEST12(P).. $\text{SUM}((A), \text{VESTFIN}(A,P)) = E = \text{ESTFIN}(P);$

DEMANUAL1(P).. $\text{SUM}((O,D,M), \text{VRODO}(O,D,P,M)\$CON(D)) + \text{SUM}((O,E,D,M),$
 $\text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)\$CON(D))$

$+ \text{SUM}((A,D,M), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)\$CON(D)) + \text{SUM}((A,E,D,M),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)\$CON(D)) = E = \text{SUM}((D), \text{DEMANDAT}(D,P)\$CON(D));$

DEMANUAL2(P).. $\text{SUM}((O,D,M), \text{VRODO}(O,D,P,M)\$EXP(D)) + \text{SUM}((O,E,D,M),$
 $\text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)\$EXP(D))$

$+ \text{SUM}((A,D,M), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)\$EXP(D)) + \text{SUM}((A,E,D,M),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)\$EXP(D)) = E = \text{SUM}((D), \text{DEMANDAT}(D,P)\$EXP(D));$

OFER(O,P,M).. $\text{SUM}((A), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) + \text{SUM}((D), \text{VRODO}(O,D,P,M))$

$+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) = E = \text{OFERTA}(O,P,M);$

```

VAL1(A,P,M)$ (ORD(M)EQ 1)..          SUM((D), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((E,D),
VMULTA(A,E,D,P,M)$FMULTA(A,E,D,M)) =L= SUM((O), VRODOOA(O,A,P,M)) + VESTINI(A,P);
VALM(A,P,M)$ (ORD(M)GT 1)..          SUM((D), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((E,D),
VMULTA(A,E,D,P,M)$FMULTA(A,E,D,M)) =L= SUM((O), VRODOOA(O,A,P,M)) + ESTOQUE(A,P,M-1);
CAPARM(A,M)..                          SUM((P), ESTOQUE(A,P,M)) =L= 100000000*Y(A);
CPORTUARIO(D,P,M)..                    (SUM((O), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((O,E),
VMULT(O,E,D,P,M)$FMULT(O,E,D,M)) + SUM((A), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((A,E),
VMULTA(A,E,D,P,M)$FMULTA(A,E,D,M))) * CPOR(TO(D,P,M)) =E= CPOR(D,P,M);

```

*Equações para auxílio

```

EQ001..                                TRANSPORTERODO          =E=  SUM((O,D,P,M),
VRODO(O,D,P,M)*CRODO(O,D,M));
EQ002..                                TRANSPORTEMULT          =E=  SUM((O,E,D,P,M),
VMULT(O,E,D,P,M)$FMULT(O,E,D,M)*CMULT(O,E,D,M));
EQ003..                                TRANSPORTERODOOA       =E=  SUM((O,A,P,M),
VRODOOA(O,A,P,M)*CRODOOA(O,A,M));
EQ004..                                TRANSPORTERODOAD       =E=  SUM((A,D,P,M),
VRODOAD(A,D,P,M)*CRODOAD(A,D,M));
EQ005..                                TRANSPORTEMULTA        =E=  SUM((A,E,D,P,M),
VMULTA(A,E,D,P,M)$FMULTA(A,E,D,M)*CMULTA(A,E,D,M));
EQ006..                                ARMAZENAGEM            =E=  SUM((O,A,P,M),
VRODOOA(O,A,P,M)*CARME(A,P) + SUM((A,P,M), ESTOQUE(A,P,M)*CARM(A,P)));
EQ007..                                PORTUARIOTOTAL         =E=  SUM((D,P,M), CPOR(D,P,M));

```

```

VITORIA(D)$ (ORD(D)EQ 39)..            SUM((O,P,M), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((A,P,M),
VRODOAD(A,D,P,M)) =E= 0
;

```

MODEL TRANSBORDO /ALL/;

SOLVE TRANSBORDO USING MIP MINIMIZING Z;

EXECUTE_UNLOAD "LTAP.gdx"

```

VRODO.L, VMULT.L, VRODOOA.L, VRODOAD.L, VMULTA.L, ESTOQUE.L,
EST1.L, ESTM.L, EST12.L,
OFER.L,
VAL1.L, VALM.L,
CAPARM.L,
Y.L,
CPORTUARIO.L,
TRANSPORTERODO.L,      TRANSPORTEMULT.L,      TRANSPORTERODOOA.L,
TRANSPORTERODOAD.L,  TRANSPORTEMULTA.L,
ARMAZENAGEM.L, PORTUARIOTOTAL.L
;

```

```

EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx var = VRODO.L rng = vrodo!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx var = VMULT.L rng = vmult!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx var = VRODOOA.L rng = vrodoa!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx var = VRODOAD.L rng = vrodoad!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx var = VMULTA.L rng = vmulta!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx var = ESTOQUE.L rng = estoque!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx EQU = EST1.L rng = est1L!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx EQU = ESTM.L rng = estmL!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx EQU = EST12.L rng = est12L!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx EQU = OFER.L rng = oferL!a1:z100000000 rdim = 3';

```

```
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx EQU = VAL1.L rng = val1L!a1:z100000000 rdim = 3'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx EQU = VALM.L rng = valmL!a1:z100000000 rdim = 3'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx EQU = CAPARM.L rng = caparmL!a1:z100000000 rdim = 2'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx VAR = Y.L rng = y!a1:z100000000 rdim = 1'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx EQU = CPORTUARIO.L rng = cportL!a1:z100000000 rdim = 3'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx var = TRANSPORTERODO rng = SUMMARY!a1:z100000000 rdim = 0'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx var = TRANSPORTEMULT rng = SUMMARY!a2:z100000000 rdim = 0'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx var = TRANSPORTERODOOA rng = SUMMARY!a3:z100000000 rdim =  
0'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx var = TRANSPORTERODOAD rng = SUMMARY!a4:z100000000 rdim =  
0'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx var = TRANSPORTEMULTA rng = SUMMARY!a5:z100000000 rdim = 0'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx var = ARMAZENAGEM rng = SUMMARY!a6:z100000000 rdim = 0'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP.gdx var = PORTUARIOTOTAL rng = SUMMARY!a7:z100000000 rdim = 0'
```

APÊNDICE M – *Script (Software GAMS) do modelo de otimização utilizado no cenário RTAP-AO*

\$ONECHO > parametros.txt

```

set = O rng = set!b1:b1000000      rdim = 1
set = A rng = set!d1:d1000000      rdim = 1
set = D rng = set!f1:f1000000      rdim = 1
set = P rng = set!p1:p1000000      rdim = 1
set = E rng = set!l1:l1000000      rdim = 1
set = M rng = set!n1:n1000000      rdim = 1
set = FRODOOA rng = Foa!a1:c1000000  rdim = 3
set = FRODOAD rng = Fad!a1:c1000000  rdim = 3
set = FRODO rng = Fod!a1:c1000000   rdim = 3
set = FMULT rng = Foedm!a1:d1000000  rdim = 4
set = FMULTA rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
par = OFERTA rng = of!a1:d1000000    rdim = 3
par = DEMANDA rng = dem!a1:d1000000  rdim = 3
par = DEMANDAT rng = demtotal!a1:c100000 rdim = 2
par = DEMANDAMAX rng = demmmax!a1:c10000 rdim = 2
par = CRODO rng = Fod!a1:d1000000    rdim = 3
par = CMULT rng = Foedm!a1:e1000000  rdim = 4
par = CRODOOA rng = Foa!a1:d1000000  rdim = 3
par = CRODOAD rng = Fad!a1:d1000000  rdim = 3
par = CMULTA rng = Foedm!a1:e1000000  rdim = 4
par = ESTINI rng = Eini!a1:c1000000   rdim = 2
par = ESTFIN rng = Efin!a1:c1000000  rdim = 2
par = CAPE rng = CapE!a1:b1000000    rdim = 1
par = CAPEM rng = CapEM!a1:b100000   rdim = 1
par = CAPA rng = CapA!a1:b1000000    rdim = 1
par = CARME rng = CarmE!a1:c1000000  rdim = 2
par = CARMME rng = CarmM!a1:c1000000 rdim = 2
par = CPORTO rng = Cpo!a1:d1000000   rdim = 3

```

\$OFFECHO

\$CALL GDXXRW setss4.xlsx @parametros.txt

\$GDXIN setss4.gdx

SETS

```

O          Regioes Produtoras
A          Armazens
D          Destino
P          Produtos
E          Terminal de transbordo de entrada
M          Meses
FMULTA(A,E,D,M)      Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação com
utilização de armazenagem

```

;

\$LOAD O A D P E M FMULTA

PARAMETERS

OFERTA(O,P,M) Oferta das mesos produtoras
 DEMANDA(D,P,M) Demanda do porto e regiões consumidoras
 CRODOOA(O,A,M) Custo da origem ao armazem
 CRODOAD(A,D,M) Custo do corredor rodoviario armazem destino
 CMULTA(A,E,D,M) Custo do corredor multimodal com armazem
 ESTINI(A,P) Estoque inicial nas mesorregiões
 ESTFIN(A,P) Estoque final nas mesorregioes
 CAPE(E) Capacidade operacional dos terminais de transbordo
 CAPEM(E) Capacidade máxima mensal dos terminais de transbordo
 CAPA(A) Capacidade de armazenagem de cada mesorregião
 CARME(A,P) Custo fixo de entrada nos armazéns
 CARMM(A,P) Custo variável mensal de estoque
 CPORTO(D,P,M) Custo portuario

;

\$LOAD OFERTA DEMANDA CRODOOA CRODOAD CMULTA ESTINI ESTFIN CAPE CAPEM CAPA
 CARME CARMM CPORTO

VARIABLES

Z Funcao objetivo
 VRODOOA(O,A,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário origem a armazem
 VRODOAD(A,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário armazem a destino
 VMULTA(A,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal com armazém
 ESTOQUE(A,P,M) Estoque na mesorregiao 'a' do produto 'p' no mês 'm'
 CPOR(D,P,M) Variável de custo portuario

*VARIABLES AUXILIARES

TRANSPORTERODOOA
 TRANSPORTERODOAD
 TRANSPORTEMULTA
 ARMAZENAGEM
 PORTUARIOTOTAL

;

POSITIVE VARIABLES VRODOOA, VRODOAD, VMULTA, ESTOQUE, CPOR,
 TRANSPORTERODOOA, TRANSPORTERODOAD, TRANSPORTEMULTA, ARMAZENAGEM,
 PORTUARIOTOTAL;

EQUATIONS

FOB Equacao de custo total do problema
 EST1 Estoque no primeiro mes
 ESTM Estoque nos meses posteriores
 EST12 Estoque no ultimo mes
 DEMIGUAL Demanda
 OFER Oferta das regioes produtoras
 VAL1 Equilibrio de estoque no mes 1
 VALM Equilibrio de estoque nos meses posteriores
 CAPOPE Capacidade operacional dos terminais
 CAPOPEM Capacidade operacional dos terminais (mensal)
 CAPARM Capacidade de armazenagem
 CPORTUARIO Custo portuario
 EQ003
 EQ004

EQ005
EQ006
EQ007
VITORIA

;

FOB.. Z =E= SUM((O,A,P,M), VRODOOA(O,A,P,M)*CRODOOA(O,A,M))
+ SUM((A,D,P,M), VRODOAD(A,D,P,M)*CRODOAD(A,D,M))
+ SUM((A,E,D,P,M),
VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)*CMULTA(A,E,D,M))
+ SUM((O,A,P,M), VRODOOA(O,A,P,M)*CARME(A,P))
+ SUM((A,P,M), ESTOQUE(A,P,M)*CARMM(A,P))
+ SUM((D,P,M), CPOR(D,P,M));

EST1(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 1).. ESTOQUE(A,P,'1') =E= ESTINI(A,P) + SUM((O), VRODOOA(O,A,P,M))
- (SUM((D), VRODOAD(A,D,P,M))
+ SUM((E,D), VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)));

ESTM(A,P,M)\$ (ORD(M)GT 1).. ESTOQUE(A,P,M) =E= ESTOQUE(A,P,M-1) + SUM((O),
VRODOOA(O,A,P,M))
- (SUM((D), VRODOAD(A,D,P,M))
+ SUM((E,D), VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)));

EST12(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 12).. ESTOQUE(A,P,M) =E= ESTFIN(A,P);
DEMIGUAL(D,P,M).. SUM((A), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((A,E),
VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =E= DEMANDA(D,P,M);

OFER(O,P,M).. SUM((A), VRODOOA(O,A,P,M)) =E= OFERTA(O,P,M);
VAL1(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 1).. SUM((D), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((E,D),
VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= SUM((O), VRODOOA(O,A,P,M)) + ESTINI(A,P);
VALM(A,P,M)\$ (ORD(M)GT 1).. SUM((D), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((E,D),
VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= SUM((O), VRODOOA(O,A,P,M)) + ESTOQUE(A,P,M-1);
CAPOPE(E).. SUM((A,D,P,M), VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= CAPE(E);
CAPEM(E,M).. SUM((A,D,P), VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= CAPEM(E);
CAPARM(A,M).. SUM((P), ESTOQUE(A,P,M)) =L= CAPA(A);
CPORTUARIO(D,P,M).. (SUM((A), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((A,E),
VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M))) * CPORTO(D,P,M) =E= CPOR(D,P,M);

*Equações para auxílio

EQ003.. TRANSPORTERODOOA =E= SUM((O,A,P,M),
VRODOOA(O,A,P,M)*CRODOOA(O,A,M));
EQ004.. TRANSPORTERODOAD =E= SUM((A,D,P,M),
VRODOAD(A,D,P,M)*CRODOAD(A,D,M));
EQ005.. TRANSPORTEMULTA =E= SUM((A,E,D,P,M),
VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)*CMULTA(A,E,D,M));
EQ006.. ARMAZENAGEM =E= SUM((O,A,P,M),
VRODOOA(O,A,P,M)*CARME(A,P)) + SUM((A,P,M), ESTOQUE(A,P,M)*CARMM(A,P));
EQ007.. PORTUARIOTOTAL =E= SUM((D,P,M), CPOR(D,P,M));
VITORIA(D)\$ (ORD(D)EQ 39).. SUM((A,P,M), VRODOAD(A,D,P,M)) =E= 0

;

MODEL TRANSBORDO /ALL/;

SOLVE TRANSBORDO USING LP MINIMIZING Z;

EXECUTE_UNLOAD "RTAPAO.gdx"

VRODOOA.L, VRODOAD.L, VMULTA.L, ESTOQUE.L,
VRODOOA.M, VRODOAD.M, VMULTA.M, ESTOQUE.M,

EST1.L, EST1.M, ESTM.L, ESTM.M, EST12.L, EST12.M
 DEMIGUAL.L, DEMIGUAL.M, OFER.L, OFER.M,
 VAL1.L, VAL1.M, VALM.L, VALM.M,
 CAPOPE.L, CAPOPE.M,
 CAPOPEM.L, CAPOPEM.M,
 CAPARM.L, CAPARM.M
 CPORTUARIO.L, CPORTUARIO.M,
 TRANSPORTERODOOA.L, TRANSPORTERODOAD.L, TRANSPORTEMULTA.L,
 ARMAZENAGEM.L, PORTUARIOTOTAL.L

;

EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx var = VRODOOA.L rng = vrodoa!a1:z100000000 rdim = 4';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx var = VRODOAD.L rng = vrodoad!a1:z100000000 rdim = 4';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx var = VMULTA.L rng = vmulta!a1:z100000000 rdim = 5';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx var = ESTOQUE.L rng = estoque!a1:z100000000 rdim = 3';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx var = VRODOOA.M rng = vrodoaM!a1:z100000000 rdim = 4';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx var = VRODOAD.M rng = vrodoadM!a1:z100000000 rdim = 4';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx var = VMULTA.M rng = vmultaM!a1:z100000000 rdim = 5';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx var = ESTOQUE.M rng = estoqueM!a1:z100000000 rdim = 3';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = EST1.L rng = est1L!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = EST1.M rng = est1M!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = ESTM.L rng = estmL!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = ESTM.M rng = estmM!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = EST12.L rng = est12L!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = EST12.M rng = est12M!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = DEMIGUAL.L rng = demL!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = DEMIGUAL.M rng = demM!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = OFER.L rng = oferL!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = OFER.M rng = oferM!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = VAL1.L rng = val1L!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = VAL1.M rng = val1M!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = VALM.L rng = valmL!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = VALM.M rng = valmM!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = CAPOPE.L rng = capopeL!a1:z100000000 rdim = 1'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = CAPOPE.M rng = capopeM!a1:z100000000 rdim = 1'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = CAPOPEM.L rng = capopemL!a1:z100000000 rdim = 1'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = CAPOPEM.M rng = capopemM!a1:z100000000 rdim = 1'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = CAPARM.L rng = caparmL!a1:z100000000 rdim = 2'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = CAPARM.M rng = caparmM!a1:z100000000 rdim = 2'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = CPORTUARIO.L rng = cportL!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx EQU = CPORTUARIO.M rng = cportM!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx var = TRANSPORTERODOOA rng = SUMMARY!a3:z100000000
 rdim = 0'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx var = TRANSPORTERODOAD rng = SUMMARY!a4:z100000000
 rdim = 0'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx var = TRANSPORTEMULTA rng = SUMMARY!a5:z100000000
 rdim = 0'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx var = ARMAZENAGEM rng = SUMMARY!a6:z100000000 rdim = 0'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTAPAO.gdx var = PORTUARIOTOTAL rng = SUMMARY!a7:z100000000 rdim =
 0'

APÊNDICE N – *Script (Software GAMS) do modelo de otimização utilizado no cenário ATAP-AO*

\$ONECHO > parametros.txt

```

set = O rng = set!b1:b1000000      rdim = 1
set = A rng = set!d1:d1000000      rdim = 1
set = D rng = set!f1:f1000000      rdim = 1
set = P rng = set!p1:p1000000      rdim = 1
set = E rng = set!l1:l1000000      rdim = 1
set = M rng = set!n1:n1000000      rdim = 1
set = FRODOOA rng = Foa!a1:c1000000  rdim = 3
set = FRODOAD rng = Fad!a1:c1000000  rdim = 3
set = FRODO rng = Fod!a1:c1000000   rdim = 3
set = FMULT rng = Foedm!a1:d1000000  rdim = 4
set = FMULTA rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
par = OFERTA rng = of!a1:d1000000    rdim = 3
par = DEMANDA rng = dem!a1:d1000000  rdim = 3
par = DEMANDAT rng = demtotal!a1:c100000 rdim = 2
par = DEMANDAMAX rng = demmmax!a1:c10000 rdim = 2
par = CRODO rng = Fod!a1:d1000000    rdim = 3
par = CMULT rng = Foedm!a1:e1000000  rdim = 4
par = CRODOOA rng = Foa!a1:d1000000  rdim = 3
par = CRODOAD rng = Fad!a1:d1000000  rdim = 3
par = CMULTA rng = Foedm!a1:e1000000  rdim = 4
par = ESTINI rng = EiniT!a1:b1000000  rdim = 1
par = ESTFIN rng = EfinT!a1:b1000000  rdim = 1
par = CAPE rng = CapE!a1:b1000000    rdim = 1
par = CAPA rng = CapA!a1:b1000000    rdim = 1
par = CARME rng = CarmE!a1:c1000000  rdim = 2
par = CARMM rng = CarmM!a1:c1000000  rdim = 2
par = CPORTO rng = Cpo!a1:d1000000   rdim = 3

```

\$OFFECHO

\$CALL GDXXRW setss4.xlsx @parametros.txt

\$GDXIN setss4.gdx

SETS

O Regioes Produtoras

A Armazens

D Destino

P Produtos

E Terminal de transbordo de entrada

M Meses

FMULTA(A,E,D,M) Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação com utilização de armazenagem

;

\$LOAD O A D P E M FMULTA

PARAMETERS

OFERTA(O,P,M) Oferta das mesos produtoras
 DEMANDAT(D,P) Demanda do porto e regiões consumidoras
 DEMANDAMAX(D,P) Demanda máxima do porto e regiões consumidoras
 CRODOOA(O,A,M) Custo da origem ao armazem
 CRODOAD(A,D,M) Custo do corredor rodoviario armazem destino
 CMULTA(A,E,D,M) Custo do corredor multimodal com armazem
 ESTINI(P) Estoque inicial nas mesorregiões
 ESTFIN(P) Estoque final nas mesorregioes
 CAPE(E) Capacidade operacional dos terminais de transbordo
 CAPA(A) Capacidade de armazenagem de cada mesorregião
 CARME(A,P) Custo fixo de entrada nos armazéns
 CARMMA(A,P) Custo variável mensal de estoque
 CPORTO(D,P,M) Custo portuario

;

\$LOAD OFERTA DEMANDAT DEMANDAMAX CRODOOA CRODOAD CMULTA ESTINI ESTFIN
 CAPE CAPA CARME CARMMA CPORTO

VARIABLES

Z Funcao objetivo

Y(A)

VRODOOA(O,A,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário origem a armazem
 VRODOAD(A,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário armazem a destino
 VMULTA(A,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal com armazém
 ESTOQUE(A,P,M) Estoque na mesorregiao 'a' do produto 'p' no mês 'm'
 CPOR(D,P,M) Variável de custo portuario
 VESTINI(A,P) Variável de Estoque inicial por mesorregião armazenadora
 VESTFIN(A,P) Variável de Estoque final por mesorregião armazenadora

*VARIABLES AUXILIARES

TRANSPORTERODOOA

TRANSPORTERODOAD

TRANSPORTEMULTA

ARMAZENAGEM

PORTUARIOTOTAL

;

POSITIVE VARIABLES VRODOOA, VRODOAD, VMULTA, ESTOQUE, CPOR, VESTINI, VESTFIN,
 TRANSPORTERODOOA, TRANSPORTERODOAD, TRANSPORTEMULTA, ARMAZENAGEM,
 PORTUARIOTOTAL;
 BINARY VARIABLES Y;

EQUATIONS

FOB Equacao de custo total do problema
 EST1 Estoque no primeiro mes
 ESTM Estoque nos meses posteriores
 EST12 Estoque no ultimo mes
 VEST1 Estoque inicial
 VEST12 Estoque final
 DEM Demanda
 DEMMAX Demanda máxima

OFER Oferta das regioes produtoras
 VAL1 Equilibrio de estoque no mes 1
 VALM Equilibrio de estoque nos meses posteriores
 CAPOPE Capacidade operacional dos terminais
 CAPARM Capacidade de armazenagem
 CPORTUARIO Equacao de custo portuario
 EQ003
 EQ004
 EQ005
 EQ006
 EQ007
 VITORIA

;

FOB.. $Z = E = \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CRODOOA}(O,A,M))$
 $+ \text{SUM}((A,D,P,M), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)*\text{CRODOAD}(A,D,M))$
 $+ \text{SUM}((A,E,D,P,M), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)*\text{FMULTA}(A,E,D,M)*\text{CMULTA}(A,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CARME}(A,P))$
 $+ \text{SUM}((A,P,M), \text{ESTOQUE}(A,P,M)*\text{CARM}(A,P))$
 $+ \text{SUM}((D,P,M), \text{CPOR}(D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((A), Y(A))*0.00000001$

;

EST1(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,'1') = E = \text{VESTINI}(A,P) + \text{SUM}((O),$
 $\text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)*\text{FMULTA}(A,E,D,M)))$;
 ESTM(A,P,M)\$ (ORD(M)GT 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{ESTOQUE}(A,P,M-1) + \text{SUM}((O),$
 $\text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)*\text{FMULTA}(A,E,D,M)))$;
 EST12(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 12).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{VESTFIN}(A,P)$;
 VEST1(P).. $\text{SUM}((A), \text{VESTINI}(A,P)) = E = \text{ESTINI}(P)$;
 VEST12(P).. $\text{SUM}((A), \text{VESTFIN}(A,P)) = E = \text{ESTFIN}(P)$;
 DEM(D,P).. $\text{SUM}((A,M), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((A,E,M),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)*\text{FMULTA}(A,E,D,M)) = E = \text{DEMANDAT}(D,P)$;
 DEMMAX(D,P,M).. $\text{SUM}((A), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((A,E),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)*\text{FMULTA}(A,E,D,M)) = L = \text{DEMANDAMAX}(D,P)$;
 OFER(O,P,M).. $\text{SUM}((A), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) = E = \text{OFERTA}(O,P,M)$;
 VAL1(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 1).. $\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((E,D),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)*\text{FMULTA}(A,E,D,M)) = L = \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) + \text{VESTINI}(A,P)$;
 VALM(A,P,M)\$ (ORD(M)GT 1).. $\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((E,D),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)*\text{FMULTA}(A,E,D,M)) = L = \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) + \text{ESTOQUE}(A,P,M-1)$;
 CAPOPE(E).. $\text{SUM}((A,D,P,M), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)*\text{FMULTA}(A,E,D,M)) = L = \text{CAPE}(E)$;
 CAPARM(A,M).. $\text{SUM}((P), \text{ESTOQUE}(A,P,M)) = L = \text{CAPA}(A)*Y(A)$;
 CPORTUARIO(D,P,M).. $(\text{SUM}((A), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((A,E),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)*\text{FMULTA}(A,E,D,M))) * \text{CPORTO}(D,P,M) = E = \text{CPOR}(D,P,M)$

*Equações para auxílio

EQ003.. $\text{TRANSPORTERODOOA} = E = \text{SUM}((O,A,P,M),$
 $\text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CRODOOA}(O,A,M))$;
 EQ004.. $\text{TRANSPORTERODOAD} = E = \text{SUM}((A,D,P,M),$
 $\text{VRODOAD}(A,D,P,M)*\text{CRODOAD}(A,D,M))$

```

EQ005..          TRANSPORTEMULTA          =E=  SUM((A,E,D,P,M),
VMULTA(A,E,D,P,M)$FMULTA(A,E,D,M)*CMULTA(A,E,D,M));
EQ006..          ARMAZENAGEM              =E=  SUM((O,A,P,M),
VRODOOA(O,A,P,M)*CARME(A,P)) + SUM((A,P,M), ESTOQUE(A,P,M)*CARMM(A,P));
EQ007..          PORTUARIOTOTAL          =E=  SUM((D,P,M), CPOR(D,P,M));
VITORIA(D)$ (ORD(D)EQ 39)..  SUM((A,P,M), VRODOAD(A,D,P,M)) =E= 0
;

```

```

*****

```

```

MODEL TRANSBORDO /ALL/;

```

```

SOLVE TRANSBORDO USING MIP MINIMIZING Z;

```

```

EXECUTE_UNLOAD "ATAPAO.gdx"
  VRODOOA.L, VRODOAD.L, VMULTA.L, ESTOQUE.L,
  EST1.L, ESTM.L, EST12.L,
  DEM.L, DEMMAX.L, OFER.L,
  VAL1.L, VALM.L,
  CAPOPE.L,
  CAPARM.L,
  Y.L,
  CPORTUARIO.L,
  TRANSPORTERODOOA.L, TRANSPORTERODOAD.L, TRANSPORTEMULTA.L,
  ARMAZENAGEM.L, PORTUARIOTOTAL.L
;

```

```

EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx var = VRODOOA.L rng = vrodoa!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx var = VRODOAD.L rng = vrodoad!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx var = VMULTA.L rng = vmulta!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx var = ESTOQUE.L rng = estoque!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx EQU = EST1.L rng = est1L!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx EQU = ESTM.L rng = estmL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx EQU = EST12.L rng = est12L!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx EQU = DEM.L rng = demL!a1:z100000000 rdim = 2'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx EQU = DEMMAX.L rng = demL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx EQU = OFER.L rng = oferL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx EQU = VAL1.L rng = val1L!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx EQU = VALM.L rng = valmL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx EQU = CAPOPE.L rng = capopeL!a1:z100000000 rdim = 1'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx EQU = CAPARM.L rng = caparmL!a1:z100000000 rdim = 2'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx VAR = Y.L rng = y!a1:z100000000 rdim = 1'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx EQU = CPORTUARIO.L rng = cportL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx var = TRANSPORTERODOOA rng = SUMMARY!a3:z100000000
rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx var = TRANSPORTERODOAD rng = SUMMARY!a4:z100000000
rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx var = TRANSPORTEMULTA rng = SUMMARY!a5:z100000000
rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx var = ARMAZENAGEM rng = SUMMARY!a6:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe ATAPAO.gdx var = PORTUARIOTOTAL rng = SUMMARY!a7:z100000000
rdim = 0'

```

APÊNDICE O – *Script (Software GAMS) do modelo de otimização utilizado no cenário LTAP-D*

\$ONECHO > parametros.txt

```

set = O rng = set!b1:b1000000      rdim = 1
set = A rng = set!d1:d1000000      rdim = 1
set = D rng = set!f1:f1000000      rdim = 1
set = P rng = set!p1:p1000000      rdim = 1
set = E rng = set!l1:l1000000      rdim = 1
set = M rng = set!n1:n1000000      rdim = 1
set = EXP rng = set!h1:h1000000     rdim = 1
set = CON rng = set!j1:j1000000     rdim = 1
set = FRODOOA rng = Foa!a1:c1000000 rdim = 3
set = FRODOAD rng = Fad!a1:c1000000 rdim = 3
set = FRODO rng = Fod!a1:c1000000  rdim = 3
set = FMULT rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
set = FMULTA rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
par = OFERTA rng = of!a1:d1000000   rdim = 3
par = DEMANDA rng = dem!a1:d1000000 rdim = 3
par = DEMANDAT rng = demtotal!a1:c100000 rdim = 2
par = DEMANDAMAX rng = demmmmax!a1:c10000 rdim = 2
par = DEMANO rng = demano!a1:b1000000 rdim = 1
par = CRODO rng = Fod!a1:d1000000   rdim = 3
par = CMULT rng = Foedm!a1:e1000000  rdim = 4
par = CRODOOA rng = Foa!a1:d1000000  rdim = 3
par = CRODOAD rng = Fad!a1:d1000000  rdim = 3
par = CMULTA rng = Foedm!a1:e1000000  rdim = 4
par = ESTINI rng = EiniT!a1:b1000000  rdim = 1
par = ESTFIN rng = EfinT!a1:b1000000  rdim = 1
par = CAPE rng = CapE!a1:b1000000    rdim = 1
par = CAPA rng = CapA!a1:b1000000    rdim = 1
par = CARME rng = CarmE!a1:c1000000  rdim = 2
par = CARMM rng = CarmM!a1:c1000000  rdim = 2
par = CPORTO rng = Cpo!a1:d1000000   rdim = 3

```

\$OFFECHO

\$CALL GDXXRW setss6.xlsx @parametros.txt

\$GDXIN setss6.gdx

SETS

```

O          Regioes Produtoras
A          Armazens
D          Destino
P          Produtos
E          Terminal de transbordo de entrada
M          Meses
FMULT(O,E,D,M)    Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação
FMULTA(A,E,D,M)   Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação com
utilização de armazenagem
EXP(D)

```

CON(D)

;

\$LOAD O A D P E M FMULT FMULTA EXP CON

PARAMETERS

OFERTA(O,P,M) Oferta das mesos produtoras
 DEMANDAT(D,P) Demanda do porto e regiões consumidoras
 CRODO(O,D,M) Custo total do corredor rodoviario direto
 CMULT(O,E,D,M) Custo total do corredor multimodal direto
 CRODOOA(O,A,M) Custo da origem ao armazem
 CRODOAD(A,D,M) Custo do corredor rodoviario armazem destino
 CMULTA(A,E,D,M) Custo do corredor multimodal com armazem
 ESTINI(P) Estoque inicial nas mesorregiões
 ESTFIN(P) Estoque final nas mesorregioes
 CAPE(E) Capacidade operacional dos terminais de transbordo
 CAPA(A) Capacidade de armazenagem de cada mesorregião
 CARME(A,P) Custo fixo de entrada nos armazéns
 CARM(M,A,P) Custo variável mensal de estoque
 CPORTO(D,P,M) Custo portuario

;

\$LOAD OFERTA DEMANDAT CRODO CMULT CRODOOA CRODOAD CMULTA ESTINI ESTFIN
 CAPE CAPA CARME CARM CPORTO

VARIABLES

Z Funcao objetivo
 Y(A)
 VRODO(O,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviario direto
 VMULT(O,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal direto
 VRODOOA(O,A,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário origem a armazem
 VRODOAD(A,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário armazem a destino
 VMULTA(A,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal com armazém
 ESTOQUE(A,P,M) Estoque na mesorregiao 'a' do produto 'p' no mês 'm'
 CPOR(D,P,M) Variável de custo portuario
 VESTINI(A,P) Variável de Estoque inicial por mesorregião armazenadora
 VESTFIN(A,P) Variável de Estoque final por mesorregião armazenadora

*VARIABLES AUXILIARES

TRANSPORTERODO
 TRANSPORTEMULT
 TRANSPORTERODOOA
 TRANSPORTERODOAD
 TRANSPORTEMULTA
 ARMAZENAGEM
 PORTUARIOTOTAL

;

POSITIVE VARIABLES VRODO, VMULT, VRODOOA, VRODOAD, VMULTA, ESTOQUE, CPOR,
 VESTINI, VESTFIN, TRANSPORTERODO, TRANSPORTEMULT, TRANSPORTERODOOA,
 TRANSPORTERODOAD, TRANSPORTEMULTA, ARMAZENAGEM, PORTUARIOTOTAL;
 BINARY VARIABLES Y;

EQUATIONS

FOB Equacao de custo total do problema
 EST1 Estoque no primeiro mes
 ESTM Estoque nos meses posteriores
 EST12 Estoque no ultimo mes
 VEST1 Estoque inicial
 VEST12 Estoque final
 DEMANUAL1 Demanda total no ano
 DEMANUAL2
 OFER Oferta das regioes produtoras
 VAL1 Equilibrio de estoque no mes 1
 VALM Equilibrio de estoque nos meses posteriores
 CAPOPE Capacidade operacional dos terminais
 CAPARM Capacidade de armazenagem
 CPORTUARIO Equacao de custo portuário
 EQ001
 EQ002
 EQ003
 EQ004
 EQ005
 EQ006
 EQ007
 VITORIA

;

FOB.. $Z = E = \text{SUM}((O,D,P,M), \text{VRODO}(O,D,P,M)*\text{CRODO}(O,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,E,D,P,M), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)*\text{CMULT}(O,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CRODOOA}(O,A,M))$
 $+ \text{SUM}((A,D,P,M), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)*\text{CRODOAD}(A,D,M))$
 $+ \text{SUM}((A,E,D,P,M), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)*\text{CMULTA}(A,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CARM}(A,P))$
 $+ \text{SUM}((A,P,M), \text{ESTOQUE}(A,P,M)*\text{CARM}(A,P))$
 $+ \text{SUM}((D,P,M), \text{CPOR}(D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((A), Y(A))*0.00000001$

;

EST1(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,'1') = E = \text{VESTINI}(A,P) + \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)))$;
 ESTM(A,P,M)\$ (ORD(M)GT 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{ESTOQUE}(A,P,M-1) + \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)))$;
 EST12(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 12).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{VESTFIN}(A,P)$;
 VEST1(P).. $\text{SUM}((A), \text{VESTINI}(A,P)) = E = \text{ESTINI}(P)$;
 VEST12(P).. $\text{SUM}((A), \text{VESTFIN}(A,P)) = E = \text{ESTFIN}(P)$;
 DEMANUAL1(P).. $\text{SUM}((O,D,M), \text{VRODO}(O,D,P,M)\$CON(D)) + \text{SUM}((O,E,D,M), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)\$CON(D))$
 $+ \text{SUM}((A,D,M), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)\$CON(D)) + \text{SUM}((A,E,D,M), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)\$CON(D)) = E = \text{SUM}((D), \text{DEMANDAT}(D,P)\$CON(D))$;

DEMANUAL2(P).. $SUM((O,D,M), VRODO(O,D,P,M)\$EXP(D)) + SUM((O,E,D,M),$
 $VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)\$EXP(D))$
 $+ SUM((A,D,M), VRODOAD(A,D,P,M)\$EXP(D)) + SUM((A,E,D,M),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)\$EXP(D)) =E= SUM((D),DEMANDAT(D,P)\$EXP(D));$
 OFER(O,P,M).. $SUM((A), VRODOOA(O,A,P,M)) + SUM((D), VRODO(O,D,P,M))$
 $+ SUM((E,D), VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) =E= OFERTA(O,P,M);$
 VAL1(A,P,M)\\$(ORD(M)EQ 1).. $SUM((D), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((E,D),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= SUM((O), VRODOOA(O,A,P,M)) + VESTINI(A,P);$
 VALM(A,P,M)\\$(ORD(M)GT 1).. $SUM((D), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((E,D),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= SUM((O), VRODOOA(O,A,P,M)) + ESTOQUE(A,P,M-1);$
 CAPOPE(E).. $SUM((O,D,P,M), VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) + SUM((A,D,P,M),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= CAPE(E);$
 CAPARM(A,M).. $SUM((P), ESTOQUE(A,P,M)) =L= CAPA(A)*Y(A);$
 CPORTUARIO(D,P,M).. $(SUM((O), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((O,E),$
 $VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) + SUM((A), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((A,E),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M))) * CPORTO(D,P,M) =E= CPOR(D,P,M);$

*Equações para auxílio

EQ001.. $TRANSPORTERODO =E= SUM((O,D,P,M),$
 $VRODO(O,D,P,M)*CRODO(O,D,M));$
 EQ002.. $TRANSPORTEMULT =E= SUM((O,E,D,P,M),$
 $VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)*CMULT(O,E,D,M));$
 EQ003.. $TRANSPORTERODOOA =E= SUM((O,A,P,M),$
 $VRODOOA(O,A,P,M)*CRODOOA(O,A,M));$
 EQ004.. $TRANSPORTERODOAD =E= SUM((A,D,P,M),$
 $VRODOAD(A,D,P,M)*CRODOAD(A,D,M));$
 EQ005.. $TRANSPORTEMULTA =E= SUM((A,E,D,P,M),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)*CMULTA(A,E,D,M));$
 EQ006.. $ARMAZENAGEM =E= SUM((O,A,P,M),$
 $VRODOOA(O,A,P,M)*CARME(A,P)) + SUM((A,P,M), ESTOQUE(A,P,M)*CARMM(A,P));$
 EQ007.. $PORTUARIOTOTAL =E= SUM((D,P,M), CPOR(D,P,M));$

VITORIA(D)\\$(ORD(D)EQ 39).. $SUM((O,P,M), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((A,P,M),$
 $VRODOAD(A,D,P,M)) =E= 0$

;

MODEL TRANSBORDO /ALL/;

SOLVE TRANSBORDO USING MIP MINIMIZING Z;

EXECUTE_UNLOAD "LTAP-D.gdx"

VRODO.L, VMULT.L, VRODOOA.L, VRODOAD.L, VMULTA.L, ESTOQUE.L,
 EST1.L, ESTM.L, EST12.L,
 OFER.L,
 VAL1.L, VALM.L,
 CAPOPE.L,
 CAPARM.L,
 Y.L,
 CPORTUARIO.L,
 TRANSPORTERODO.L, TRANSPORTEMULT.L, TRANSPORTERODOOA.L,
 TRANSPORTERODOAD.L, TRANSPORTEMULTA.L,
 ARMAZENAGEM.L, PORTUARIOTOTAL.L

;

EXECUTE 'gdxrw.exe LTAP-D.gdx var = VRODO.L rng = vrodo!a1:z100000000 rdim = 4';


```

EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx var = VMULT.L rng = vmult!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx var = VRODOOA.L rng = vrodoa!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx var = VRODOAD.L rng = vrodoad!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx var = VMULTA.L rng = vmulta!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx var = ESTOQUE.L rng = estoque!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx EQU = EST1.L rng = est1L!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx EQU = ESTM.L rng = estmL!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx EQU = EST12.L rng = est12L!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx EQU = OFER.L rng = oferL!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx EQU = VAL1.L rng = val1L!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx EQU = VALM.L rng = valmL!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx EQU = CAPOPE.L rng = capopeL!a1:z100000000 rdim = 1';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx EQU = CAPARM.L rng = caparmL!a1:z100000000 rdim = 2';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx VAR = Y.L rng = y!a1:z100000000 rdim = 1';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx EQU = CPORTUARIO.L rng = cportL!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx var = TRANSPORTERODO rng = SUMMARY!a1:z100000000 rdim = 0';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx var = TRANSPORTEMULT rng = SUMMARY!a2:z100000000 rdim = 0';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx var = TRANSPORTERODOOA rng = SUMMARY!a3:z100000000 rdim = 0';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx var = TRANSPORTERODOAD rng = SUMMARY!a4:z100000000 rdim = 0';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx var = TRANSPORTEMULTA rng = SUMMARY!a5:z100000000 rdim = 0';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx var = ARMAZENAGEM rng = SUMMARY!a6:z100000000 rdim = 0';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-D.gdx var = PORTUARIOTOTAL rng = SUMMARY!a7:z100000000 rdim = 0';

```

APÊNDICE P – *Script (Software GAMS) do modelo de otimização utilizado no cenário LTAP-E*

\$ONECHO > parametros.txt

```

set = O rng = set!b1:b1000000      rdim = 1
set = A rng = set!d1:d1000000      rdim = 1
set = D rng = set!f1:f1000000      rdim = 1
set = P rng = set!p1:p1000000      rdim = 1
set = E rng = set!l1:l1000000      rdim = 1
set = M rng = set!n1:n1000000      rdim = 1
set = EXP rng = set!h1:h1000000     rdim = 1
set = CON rng = set!j1:j1000000     rdim = 1
set = FRODOOA rng = Foa!a1:c1000000 rdim = 3
set = FRODOAD rng = Fad!a1:c1000000 rdim = 3
set = FRODO rng = Fod!a1:c1000000  rdim = 3
set = FMULT rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
set = FMULTA rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
par = OFERTA rng = of!a1:d1000000   rdim = 3
par = DEMANDA rng = dem!a1:d1000000 rdim = 3
par = DEMANDAT rng = demtotal!a1:c100000 rdim = 2
par = DEMANDAMAX rng = demmmmax!a1:c10000 rdim = 2
par = DEMANO rng = demano!a1:b1000000 rdim = 1
par = CRODO rng = Fod!a1:d1000000   rdim = 3
par = CMULT rng = Foedm!a1:e1000000 rdim = 4
par = CRODOOA rng = Foa!a1:d1000000 rdim = 3
par = CRODOAD rng = Fad!a1:d1000000 rdim = 3
par = CMULTA rng = Foedm!a1:e1000000 rdim = 4
par = ESTINI rng = EiniT!a1:b1000000 rdim = 1
par = ESTFIN rng = EfinT!a1:b1000000 rdim = 1
par = CAPE rng = CapE!a1:b1000000   rdim = 1
par = CAPA rng = CapA!a1:b1000000   rdim = 1
par = CARME rng = CarmE!a1:c1000000 rdim = 2
par = CARMM rng = CarmM!a1:c1000000 rdim = 2
par = CPORTO rng = Cpo!a1:d1000000  rdim = 3

```

\$OFFECHO

\$CALL GDXXRW setss4.xlsx @parametros.txt

\$GDXIN setss4.gdx

SETS

```

O          Regioes Produtoras
A          Armazens
D          Destino
P          Produtos
E          Terminal de transbordo de entrada
M          Meses
FMULT(O,E,D,M)    Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação
FMULTA(A,E,D,M)   Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação com
utilização de armazenagem
EXP(D)
CON(D)

```

;

\$LOAD O A D P E M FMULT FMULTA EXP CON

PARAMETERS

OFERTA(O,P,M) Oferta das mesos produtoras
 DEMANDAT(D,P) Demanda do porto e regiões consumidoras
 DEMANDAMAX(D,P) Demanda máxima do porto e regiões consumidoras
 CRODO(O,D,M) Custo total do corredor rodoviario direto
 CMULT(O,E,D,M) Custo total do corredor multimodal direto
 CRODOOA(O,A,M) Custo da origem ao armazem
 CRODOAD(A,D,M) Custo do corredor rodoviario armazem destino
 CMULTA(A,E,D,M) Custo do corredor multimodal com armazem
 ESTINI(P) Estoque inicial nas mesorregiões
 ESTFIN(P) Estoque final nas mesorregioes
 CAPA(A) Capacidade de armazenagem de cada mesorregião
 CARME(A,P) Custo fixo de entrada nos armazéns
 CARM(M,A,P) Custo variável mensal de estoque
 CPORTO(D,P,M) Custo portuario

;

\$LOAD OFERTA DEMANDAT DEMANDAMAX CRODO CMULT CRODOOA CRODOAD CMULTA
 ESTINI ESTFIN CAPA CARME CARM CPORTO

VARIABLES

Z Funcao objetivo

Y(A)

VRODO(O,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviario direto
 VMULT(O,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal direto
 VRODOOA(O,A,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário origem a armazem
 VRODOAD(A,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário armazem a destino
 VMULTA(A,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal com armazém
 ESTOQUE(A,P,M) Estoque na mesorregiao 'a' do produto 'p' no mês 'm'
 CPOR(D,P,M) Variável de custo portuario
 VESTINI(A,P) Variável de Estoque inicial por mesorregião armazenadora
 VESTFIN(A,P) Variável de Estoque final por mesorregião armazenadora

*VARIABLES AUXILIARES

TRANSPORTERODO
 TRANSPORTEMULT
 TRANSPORTERODOOA
 TRANSPORTERODOAD
 TRANSPORTEMULTA
 ARMAZENAGEM
 PORTUARIOTOTAL

;

POSITIVE VARIABLES VRODO, VMULT, VRODOOA, VRODOAD, VMULTA, ESTOQUE, CPOR, VESTINI, VESTFIN, TRANSPORTERODO, TRANSPORTEMULT, TRANSPORTERODOOA, TRANSPORTERODOAD, TRANSPORTEMULTA, ARMAZENAGEM, PORTUARIOTOTAL;
 BINARY VARIABLES Y;

EQUATIONS

FOB Equacao de custo total do problema
 EST1 Estoque no primeiro mes
 ESTM Estoque nos meses posteriores
 EST12 Estoque no ultimo mes
 VEST1 Estoque inicial
 VEST12 Estoque final
 DEM Demanda
 DEMMAX Demanda máxima
 OFER Oferta das regioes produtoras
 VAL1 Equilibrio de estoque no mes 1
 VALM Equilibrio de estoque nos meses posteriores
 CAPARM Capacidade de armazenagem
 CPORTUARIO Equacao de custo portuário
 EQ001
 EQ002
 EQ003
 EQ004
 EQ005
 EQ006
 EQ007
 VITORIA

;

FOB.. $Z = E = \text{SUM}((O,D,P,M), \text{VRODO}(O,D,P,M)*\text{CRODO}(O,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,E,D,P,M), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$ \text{FMULT}(O,E,D,M)*\text{CMULT}(O,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CRODOOA}(O,A,M))$
 $+ \text{SUM}((A,D,P,M), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)*\text{CRODOAD}(A,D,M))$
 $+ \text{SUM}((A,E,D,P,M), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$ \text{FMULTA}(A,E,D,M)*\text{CMULTA}(A,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CARME}(A,P))$
 $+ \text{SUM}((A,P,M), \text{ESTOQUE}(A,P,M)*\text{CARMM}(A,P))$
 $+ \text{SUM}((D,P,M), \text{CPOR}(D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((A), Y(A))*0.00000001$

;

EST1(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,'1') = E = \text{VESTINI}(A,P) + \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$ \text{FMULTA}(A,E,D,M)));$
 ESTM(A,P,M)\$ (ORD(M)GT 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{ESTOQUE}(A,P,M-1) + \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$ \text{FMULTA}(A,E,D,M)));$
 EST12(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 12).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{VESTFIN}(A,P);$
 VEST1(P).. $\text{SUM}((A), \text{VESTINI}(A,P)) = E = \text{ESTINI}(P);$
 VEST12(P).. $\text{SUM}((A), \text{VESTFIN}(A,P)) = E = \text{ESTFIN}(P);$

DEM(D,P).. $SUM((O,M), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((O,E,M),$
 $VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M))$
 $+ SUM((A,M), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((A,E,M),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =E= DEMANDAT(D,P);$
 DEMMAX(D,P,M).. $SUM((O), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((O,E),$
 $VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M))$
 $+ SUM((A), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((A,E),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= DEMANDAMAX(D,P);$
 OFER(O,P,M).. $SUM((A), VRODOOA(O,A,P,M)) + SUM((D), VRODO(O,D,P,M))$
 $+ SUM((E,D), VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) =E= OFERTA(O,P,M);$
 VAL1(A,P,M)\\$(ORD(M)EQ 1).. $SUM((D), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((E,D),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= SUM((O), VRODOOA(O,A,P,M)) + VESTINI(A,P);$

VALM(A,P,M)\\$(ORD(M)GT 1).. $SUM((D), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((E,D),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= SUM((O), VRODOOA(O,A,P,M)) + ESTOQUE(A,P,M-1);$
 CAPARM(A,M).. $SUM((P), ESTOQUE(A,P,M)) =L= CAPA(A)*Y(A);$
 CPORTUARIO(D,P,M).. $(SUM((O), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((O,E),$
 $VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) + SUM((A), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((A,E),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) * CPORTO(D,P,M) =E= CPOR(D,P,M);$

*Equações para auxílio

EQ001.. $TRANSPORTERODO =E= SUM((O,D,P,M),$
 $VRODO(O,D,P,M)*CRODO(O,D,M));$
 EQ002.. $TRANSPORTEMULT =E= SUM((O,E,D,P,M),$
 $VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)*CMULT(O,E,D,M));$
 EQ003.. $TRANSPORTERODOOA =E= SUM((O,A,P,M),$
 $VRODOOA(O,A,P,M)*CRODOOA(O,A,M));$
 EQ004.. $TRANSPORTERODOAD =E= SUM((A,D,P,M),$
 $VRODOAD(A,D,P,M)*CRODOAD(A,D,M));$
 EQ005.. $TRANSPORTEMULTA =E= SUM((A,E,D,P,M),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)*CMULTA(A,E,D,M));$
 EQ006.. $ARMAZENAGEM =E= SUM((O,A,P,M),$
 $VRODOOA(O,A,P,M)*CARME(A,P)) + SUM((A,P,M), ESTOQUE(A,P,M)*CARM(A,P));$
 EQ007.. $PORTUARIOTOTAL =E= SUM((D,P,M), CPOR(D,P,M));$
 VITORIA(D)\\$(ORD(D)EQ 39).. $SUM((O,P,M), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((A,P,M),$
 $VRODOAD(A,D,P,M)) =E= 0$

;

MODEL TRANSBORDO /ALL/;

SOLVE TRANSBORDO USING MIP MINIMIZING Z;

EXECUTE_UNLOAD "LTAP-E.gdx"

VRODO.L, VMULT.L, VRODOOA.L, VRODOAD.L, VMULTA.L, ESTOQUE.L,
 EST1.L, ESTM.L, EST12.L,
 DEM.L, DEMMAX.L,
 OFER.L,
 VAL1.L, VALM.L,
 CAPARM.L,
 Y.L,
 CPORTUARIO.L,
 TRANSPORTERODO.L, TRANSPORTEMULT.L, TRANSPORTERODOOA.L,
 TRANSPORTERODOAD.L, TRANSPORTEMULTA.L,
 ARMAZENAGEM.L, PORTUARIOTOTAL.L

;

```

EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx var = VRODO.L rng = vrodo!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx var = VMULT.L rng = vmult!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx var = VRODOOA.L rng = vrodoa!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx var = VRODOAD.L rng = vrodoad!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx var = VMULTA.L rng = vmulta!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx var = ESTOQUE.L rng = estoque!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx EQU = EST1.L rng = est1L!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx EQU = ESTM.L rng = estmL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx EQU = EST12.L rng = est12L!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx EQU = DEM.L rng = demL!a1:z100000000 rdim = 2'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx EQU = DEMMAX.L rng = demL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx EQU = OFER.L rng = oferL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx EQU = VAL1.L rng = val1L!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx EQU = VALM.L rng = valmL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx EQU = CAPARM.L rng = caparmL!a1:z100000000 rdim = 2'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx VAR = Y.L rng = y!a1:z100000000 rdim = 1'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx EQU = CPORTUARIO.L rng = cportL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx var = TRANSPORTERODO rng = SUMMARY!a1:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx var = TRANSPORTEMULT rng = SUMMARY!a2:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx var = TRANSPORTERODOOA rng = SUMMARY!a3:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx var = TRANSPORTERODOAD rng = SUMMARY!a4:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx var = TRANSPORTEMULTA rng = SUMMARY!a5:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx var = ARMAZENAGEM rng = SUMMARY!a6:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-E.gdx var = PORTUARIOTOTAL rng = SUMMARY!a7:z100000000 rdim = 0'

```

APÊNDICE Q – *Script (Software GAMS) do modelo de otimização utilizado no cenário LTAP-A*

\$ONECHO > parametros.txt

```

set = O rng = set!b1:b1000000      rdim = 1
set = A rng = set!d1:d1000000      rdim = 1
set = D rng = set!f1:f1000000      rdim = 1
set = P rng = set!p1:p1000000      rdim = 1
set = E rng = set!l1:l1000000      rdim = 1
set = M rng = set!n1:n1000000      rdim = 1
set = EXP rng = set!h1:h1000000     rdim = 1
set = CON rng = set!j1:j1000000     rdim = 1
set = FRODOOA rng = Foa!a1:c1000000 rdim = 3
set = FRODOAD rng = Fad!a1:c1000000 rdim = 3
set = FRODO rng = Fod!a1:c1000000  rdim = 3
set = FMULT rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
set = FMULTA rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
par = OFERTA rng = of!a1:d1000000   rdim = 3
par = DEMANDA rng = dem!a1:d1000000 rdim = 3
par = DEMANDAT rng = demtotal!a1:c100000 rdim = 2
par = DEMANDAMAX rng = demmmax!a1:c10000 rdim = 2
par = DEMANO rng = demano!a1:b1000000 rdim = 1
par = CRODO rng = Fod!a1:d1000000   rdim = 3
par = CMULT rng = Foedm!a1:e1000000 rdim = 4
par = CRODOOA rng = Foa!a1:d1000000 rdim = 3
par = CRODOAD rng = Fad!a1:d1000000 rdim = 3
par = CMULTA rng = Foedm!a1:e1000000 rdim = 4
par = ESTINI rng = EiniT!a1:b1000000 rdim = 1
par = ESTFIN rng = EfinT!a1:b1000000 rdim = 1
par = CAPE rng = CapE!a1:b1000000   rdim = 1
par = CAPA rng = CapA!a1:b1000000   rdim = 1
par = CARME rng = CarmE!a1:c1000000 rdim = 2
par = CARMME rng = CarmM!a1:c1000000 rdim = 2
par = CPORTO rng = Cpo!a1:d1000000  rdim = 3

```

\$OFFECHO

\$CALL GDXXRW setss4.xlsx @parametros.txt

\$GDXIN setss4.gdx

SETS

```

O          Regioes Produtoras
A          Armazens
D          Destino
P          Produtos
E          Terminal de transbordo de entrada
M          Meses
FMULT(O,E,D,M)    Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação
FMULTA(A,E,D,M)   Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação com
utilização de armazenagem
EXP(D)

```

CON(D)

;

\$LOAD O A D P E M FMULT FMULTA EXP CON

PARAMETERS

OFERTA(O,P,M) Oferta das mesos produtoras
 DEMANDAT(D,P) Demanda do porto e regiões consumidoras
 DEMANDAMAX(D,P) Demanda máxima do porto e regiões consumidoras
 CRODO(O,D,M) Custo total do corredor rodoviario direto
 CMULT(O,E,D,M) Custo total do corredor multimodal direto
 CRODOOA(O,A,M) Custo da origem ao armazem
 CRODOAD(A,D,M) Custo do corredor rodoviario armazem destino
 CMULTA(A,E,D,M) Custo do corredor multimodal com armazem
 ESTINI(P) Estoque inicial nas mesorregiões
 ESTFIN(P) Estoque final nas mesorregioes
 CAPE(E) Capacidade operacional dos terminais de transbordo
 CARME(A,P) Custo fixo de entrada nos armazéns
 CARMMA(A,P) Custo variável mensal de estoque
 CPORTO(D,P,M) Custo portuario

;

\$LOAD OFERTA DEMANDAT DEMANDAMAX CRODO CMULT CRODOOA CRODOAD CMULTA
 ESTINI ESTFIN CAPE CARME CARMMA CPORTO

VARIABLES

Z Funcao objetivo
 Y(A)
 VRODO(O,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviario direto
 VMULT(O,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal direto
 VRODOOA(O,A,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário origem a armazem
 VRODOAD(A,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário armazem a destino
 VMULTA(A,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal com armazém
 ESTOQUE(A,P,M) Estoque na mesorregiao 'a' do produto 'p' no mês 'm'
 CPOR(D,P,M) Variável de custo portuario
 VESTINI(A,P) Variável de Estoque inicial por mesorregião armazenadora
 VESTFIN(A,P) Variável de Estoque final por mesorregião armazenadora

*VARIABLES AUXILIARES

TRANSPORTERODO
 TRANSPORTEMULT
 TRANSPORTERODOOA
 TRANSPORTERODOAD
 TRANSPORTEMULTA
 ARMAZENAGEM
 PORTUARIOTOTAL

;

POSITIVE VARIABLES VRODO, VMULT, VRODOOA, VRODOAD, VMULTA, ESTOQUE, CPOR, VESTINI, VESTFIN, TRANSPORTERODO, TRANSPORTERMULT, TRANSPORTERODOOA, TRANSPORTERODOAD, TRANSPORTERMULTA, ARMAZENAGEM, PORTUARIOTOTAL;
 BINARY VARIABLES Y;

EQUATIONS

FOB Equacao de custo total do problema

EST1 Estoque no primeiro mes

ESTM Estoque nos meses posteriores

EST12 Estoque no ultimo mes

VEST1 Estoque inicial

VEST12 Estoque final

DEM Demanda

DEMMAX Demanda máxima

OFER Oferta das regioes produtoras

VAL1 Equilibrio de estoque no mes 1

VALM Equilibrio de estoque nos meses posteriores

CAPOPE Capacidade operacional dos terminais

CAPARM Capacidade de armazenagem

CPORTUARIO Equacao de custo portuário

EQ001

EQ002

EQ003

EQ004

EQ005

EQ006

EQ007

VITORIA

;

FOB.. $Z = E = \text{SUM}((O,D,P,M), \text{VRODO}(O,D,P,M)*\text{CRODO}(O,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,E,D,P,M), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)*\text{CMULT}(O,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CRODOOA}(O,A,M))$
 $+ \text{SUM}((A,D,P,M), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)*\text{CRODOAD}(A,D,M))$
 $+ \text{SUM}((A,E,D,P,M), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)*\text{CMULTA}(A,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CARME}(A,P))$
 $+ \text{SUM}((A,P,M), \text{ESTOQUE}(A,P,M)*\text{CARMM}(A,P))$
 $+ \text{SUM}((D,P,M), \text{CPOR}(D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((A), Y(A))*0.00000001$

;

EST1(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,1) = E = \text{VESTINI}(A,P) + \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)));$
 ESTM(A,P,M)\$ (ORD(M)GT 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{ESTOQUE}(A,P,M-1) + \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)));$
 EST12(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 12).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{VESTFIN}(A,P);$
 VEST1(P).. $\text{SUM}((A), \text{VESTINI}(A,P)) = E = \text{ESTINI}(P);$
 VEST12(P).. $\text{SUM}((A), \text{VESTFIN}(A,P)) = E = \text{ESTFIN}(P);$

DEM(D,P).. $SUM((O,M), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((O,E,M),$
 $VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M))$
 $+ SUM((A,M), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((A,E,M),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =E= DEMANDAT(D,P);$
 DEMMAX(D,P,M).. $SUM((O), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((O,E),$
 $VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M))$
 $+ SUM((A), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((A,E),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= DEMANDAMAX(D,P);$
 OFER(O,P,M).. $SUM((A), VRODOOA(O,A,P,M)) + SUM((D), VRODO(O,D,P,M))$
 $+ SUM((E,D), VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) =E= OFERTA(O,P,M);$
 VAL1(A,P,M)\\$(ORD(M)EQ 1).. $SUM((D), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((E,D),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= SUM((O), VRODOOA(O,A,P,M)) + VESTINI(A,P);$
 VALM(A,P,M)\\$(ORD(M)GT 1).. $SUM((D), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((E,D),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= SUM((O), VRODOOA(O,A,P,M)) + ESTOQUE(A,P,M-1);$
 CAPOPE(E).. $SUM((O,D,P,M), VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) + SUM((A,D,P,M),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) =L= CAPE(E);$
 CAPARM(A,M).. $SUM((P), ESTOQUE(A,P,M)) =L= 1000000000*Y(A);$
 CPORTUARIO(D,P,M).. $(SUM((O), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((O,E),$
 $VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) + SUM((A), VRODOAD(A,D,P,M)) + SUM((A,E),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M))) * CPORTO(D,P,M) =E= CPOR(D,P,M);$

*Equações para auxílio

EQ001.. $TRANSPORTERODO =E= SUM((O,D,P,M),$
 $VRODO(O,D,P,M)*CRODO(O,D,M));$
 EQ002.. $TRANSPORTEMULT =E= SUM((O,E,D,P,M),$
 $VMULT(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)*CMULT(O,E,D,M));$
 EQ003.. $TRANSPORTERODOOA =E= SUM((O,A,P,M),$
 $VRODOOA(O,A,P,M)*CRODOOA(O,A,M));$
 EQ004.. $TRANSPORTERODOAD =E= SUM((A,D,P,M),$
 $VRODOAD(A,D,P,M)*CRODOAD(A,D,M));$
 EQ005.. $TRANSPORTEMULTA =E= SUM((A,E,D,P,M),$
 $VMULTA(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)*CMULTA(A,E,D,M));$
 EQ006.. $ARMAZENAGEM =E= SUM((O,A,P,M),$
 $VRODOOA(O,A,P,M)*CARME(A,P)) + SUM((A,P,M), ESTOQUE(A,P,M)*CARMM(A,P));$
 EQ007.. $PORTUARIOTOTAL =E= SUM((D,P,M), CPOR(D,P,M));$
 VITORIA(D)\\$(ORD(D)EQ 39).. $SUM((O,P,M), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((A,P,M),$
 $VRODOAD(A,D,P,M)) =E= 0$

;

MODEL TRANSBORDO /ALL/;

SOLVE TRANSBORDO USING MIP MINIMIZING Z;

EXECUTE_UNLOAD "LTAP-A.gdx"

VRODO.L, VMULT.L, VRODOOA.L, VRODOAD.L, VMULTA.L, ESTOQUE.L,
 EST1.L, ESTM.L, EST12.L,
 DEM.L, DEMMAX.L,
 OFER.L,
 VAL1.L, VALM.L,
 CAPOPE.L,
 CAPARM.L,
 Y.L,
 CPORTUARIO.L,
 TRANSPORTERODO.L, TRANSPORTEMULT.L, TRANSPORTERODOOA.L,
 TRANSPORTERODOAD.L, TRANSPORTEMULTA.L,

ARMAZENAGEM.L, PORTUARIOTOTAL.L

;

```

EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx var = VRODO.L rng = vrodo!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx var = VMULT.L rng = vmult!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx var = VRODOOA.L rng = vrodoa!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx var = VRODOAD.L rng = vrodoad!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx var = VMULTA.L rng = vmulta!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx var = ESTOQUE.L rng = estoque!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx EQU = EST1.L rng = est1L!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx EQU = ESTM.L rng = estmL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx EQU = EST12.L rng = est12L!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx EQU = DEM.L rng = demL!a1:z100000000 rdim = 2'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx EQU = DEMMAX.L rng = demL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx EQU = OFER.L rng = oferL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx EQU = VAL1.L rng = val1L!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx EQU = VALM.L rng = valmL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx EQU = CAPOPE.L rng = capopeL!a1:z100000000 rdim = 1'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx EQU = CAPARM.L rng = caparmL!a1:z100000000 rdim = 2'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx VAR = Y.L rng = y!a1:z100000000 rdim = 1'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx EQU = CPORTUARIO.L rng = cportL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx var = TRANSPORTERODO rng = SUMMARY!a1:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx var = TRANSPORTEMULT rng = SUMMARY!a2:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx var = TRANSPORTERODOOA rng = SUMMARY!a3:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx var = TRANSPORTERODOAD rng = SUMMARY!a4:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx var = TRANSPORTEMULTA rng = SUMMARY!a5:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx var = ARMAZENAGEM rng = SUMMARY!a6:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe LTAP-A.gdx var = PORTUARIOTOTAL rng = SUMMARY!a7:z100000000 rdim = 0'

```

APÊNDICE R – *Script (Software GAMS) do modelo de otimização utilizado no cenário RT*

\$ONECHO > parametros.txt

```

set = O rng = set!b1:b1000000      rdim = 1
set = A rng = set!d1:d1000000      rdim = 1
set = D rng = set!f1:f1000000      rdim = 1
set = P rng = set!p1:p1000000      rdim = 1
set = E rng = set!l1:l1000000      rdim = 1
set = M rng = set!n1:n1000000      rdim = 1
set = FRODOOA rng = Foa!a1:c1000000  rdim = 3
set = FRODOAD rng = Fad!a1:c1000000  rdim = 3
set = FRODO rng = Fod!a1:c1000000   rdim = 3
set = FMULT rng = Foedm!a1:d1000000  rdim = 4
set = FMULTA rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
par = OFERTA rng = of!a1:d1000000    rdim = 3
par = DEMANDA rng = dem!a1:d1000000  rdim = 3
par = DEMANDAT rng = demtotal!a1:c100000 rdim = 2
par = DEMANDAMAX rng = demmmmax!a1:c10000 rdim = 2
par = CRODO rng = Fod!a1:d1000000    rdim = 3
par = CMULT rng = Foedm!a1:e1000000  rdim = 4
par = CRODOOA rng = Foa!a1:d1000000  rdim = 3
par = CRODOAD rng = Fad!a1:d1000000  rdim = 3
par = CMULTA rng = Foedm!a1:e1000000 rdim = 4
par = ESTINI rng = Eini!a1:c1000000  rdim = 2
par = ESTFIN rng = Efin!a1:c1000000  rdim = 2
par = CAPE rng = CapE!a1:b1000000    rdim = 1
par = CAPEM rng = CapEM!a1:b1000000  rdim = 1
par = CAPA rng = CapA!a1:b1000000    rdim = 1

```

\$OFFECHO

\$CALL GDXXRW setss4.xlsx @parametros.txt

\$GDXIN setss4.gdx

SETS

```

O          Regioes Produtoras
A          Armazens
D          Destino
P          Produtos
E          Terminal de transbordo de entrada
M          Meses
FMULT(O,E,D,M)    Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação
FMULTA(A,E,D,M)   Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação com
utilização de armazenagem
;

```

\$LOAD O A D P E M FMULT FMULTA

PARAMETERS

```

OFERTA(O,P,M)    Oferta das mesos produtoras
DEMANDA(D,P,M)   Demanda do porto e regiões consumidoras

```

CRODO(O,D,M) Custo total do corredor rodoviario direto
 CMULT(O,E,D,M) Custo total do corredor multimodal direto
 CRODOOA(O,A,M) Custo da origem ao armazem
 CRODOAD(A,D,M) Custo do corredor rodoviario armazem destino
 CMULTA(A,E,D,M) Custo do corredor multimodal com armazem
 ESTINI(A,P) Estoque inicial nas mesorregiões
 ESTFIN(A,P) Estoque final nas mesorregioes
 CAPE(E) Capacidade operacional dos terminais de transbordo
 CAPEM(E) Capacidade máxima mensal dos terminais de transbordo
 CAPA(A) Capacidade de armazenagem de cada mesorregião

;

\$LOAD OFERTA DEMANDA CRODO CMULT CRODOOA CRODOAD CMULTA ESTINI ESTFIN CAPE
 CAPEM CAPA

VARIABLES

Z Funcao objetivo
 VRODO(O,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviario direto
 VMULT(O,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal direto
 VRODOOA(O,A,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário origem a armazem
 VRODOAD(A,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário armazem a destino
 VMULTA(A,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal com armazém
 ESTOQUE(A,P,M) Estoque na mesorregiao 'a' do produto 'p' no mês 'm'

*VARIABLES AUXILIARES

TRANSPORTERODO
 TRANSPORTEMULT
 TRANSPORTERODOOA
 TRANSPORTERODOAD
 TRANSPORTEMULTA

;

POSITIVE VARIABLES VRODO, VMULT, VRODOOA, VRODOAD, VMULTA, ESTOQUE,
 TRANSPORTERODO, TRANSPORTEMULT, TRANSPORTERODOOA, TRANSPORTERODOAD,
 TRANSPORTEMULTA;
 BINARY VARIABLES Y;

EQUATIONS

FOB Equacao de custo total do problema
 EST1 Estoque no primeiro mes
 ESTM Estoque nos meses posteriores
 EST12 Estoque no ultimo mes
 DEMIGUAL Demanda mensal exata
 OFER Oferta das regioes produtoras
 VAL1 Equilibrio de estoque no mes 1
 VALM Equilibrio de estoque nos meses posteriores
 CAPOPE Capacidade operacional dos terminais
 CAPOPEM Capacidade operacional dos terminais (mensal)

CAPARM Capacidade de armazenagem

EQ001
EQ002
EQ003
EQ004
EQ005

VITORIA
;

FOB.. $Z = E = \text{SUM}((O,D,P,M), \text{VRODO}(O,D,P,M)*\text{CRODO}(O,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,E,D,P,M), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)*\text{CMULT}(O,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CRODOOA}(O,A,M))$
 $+ \text{SUM}((A,D,P,M), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)*\text{CRODOAD}(A,D,M))$
 $+ \text{SUM}((A,E,D,P,M), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)*\text{CMULTA}(A,E,D,M));$

EST1(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,'1') = E = \text{ESTINI}(A,P) + \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)));$

ESTM(A,P,M)\$ (ORD(M)GT 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{ESTOQUE}(A,P,M-1) + \text{SUM}((O),$
 $\text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)));$

EST12(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 12).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{ESTFIN}(A,P);$
 DEMIGUAL(D,P,M).. $\text{SUM}((O), \text{VRODO}(O,D,P,M)) + \text{SUM}((O,E),$
 $\text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M))$

$+ \text{SUM}((A), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((A,E),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) = E = \text{DEMANDA}(D,P,M);$

OFER(O,P,M).. $\text{SUM}((A), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) + \text{SUM}((D), \text{VRODO}(O,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) = E = \text{OFERTA}(O,P,M);$

VAL1(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 1).. $\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((E,D),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) = L = \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) + \text{ESTINI}(A,P);$

VALM(A,P,M)\$ (ORD(M)GT 1).. $\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((E,D),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) = L = \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) + \text{ESTOQUE}(A,P,M-1);$

CAPOPE(E).. $\text{SUM}((O,D,P,M), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) + \text{SUM}((A,D,P,M),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) = L = \text{CAPE}(E);$

CAPOPEM(E,M).. $\text{SUM}((O,D,P), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) + \text{SUM}((A,D,P),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) = L = \text{CAPEM}(E);$

CAPARM(A,M).. $\text{SUM}((P), \text{ESTOQUE}(A,P,M)) = L = \text{CAPA}(A);$

*Equações para auxílio

EQ001.. $\text{TRANSPORTERODO} = E = \text{SUM}((O,D,P,M),$
 $\text{VRODO}(O,D,P,M)*\text{CRODO}(O,D,M));$

EQ002.. $\text{TRANSPORTEMULT} = E = \text{SUM}((O,E,D,P,M),$
 $\text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)*\text{CMULT}(O,E,D,M));$

EQ003.. $\text{TRANSPORTERODOOA} = E = \text{SUM}((O,A,P,M),$
 $\text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CRODOOA}(O,A,M));$

EQ004.. $\text{TRANSPORTERODOAD} = E = \text{SUM}((A,D,P,M),$
 $\text{VRODOAD}(A,D,P,M)*\text{CRODOAD}(A,D,M));$

EQ005.. $\text{TRANSPORTEMULTA} = E = \text{SUM}((A,E,D,P,M),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)*\text{CMULTA}(A,E,D,M));$

VITORIA(D)\$ (ORD(D)EQ 39).. $\text{SUM}((O,P,M), \text{VRODO}(O,D,P,M)) + \text{SUM}((A,P,M),$
 $\text{VRODOAD}(A,D,P,M)) = E = 0$

MODEL TRANSBORDO /ALL/;

SOLVE TRANSBORDO USING LP MINIMIZING Z;

EXECUTE_UNLOAD "RT.gdx"

VRODO.L, VMULT.L, VRODOOA.L, VRODOAD.L, VMULTA.L, ESTOQUE.L,
VRODO.M, VMULT.M, VRODOOA.M, VRODOAD.M, VMULTA.M, ESTOQUE.M,
EST1.L, EST1.M, ESTM.L, ESTM.M, EST12.L, EST12.M
DEMIGUAL.L, DEMIGUAL.M, OFER.L, OFER.M,

* VAL1.L, VAL1.M, VALM.L, VALM.M,
CAPOPE.L, CAPOPE.M,
CAPOPEM.L, CAPOPEM.M,
CAPARM.L, CAPARM.M
TRANSPORTERODO.L, TRANSPORTEMULT.L, TRANSPORTERODOOA.L,
TRANSPORTERODOAD.L, TRANSPORTEMULTA.L;

```
;
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = VRODO.L rng = vrodo!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = VMULT.L rng = vmult!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = VRODOOA.L rng = vrodoa!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = VRODOAD.L rng = vrodoad!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = VMULTA.L rng = vmulta!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = ESTOQUE.L rng = estoque!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = VRODO.M rng = vrodoM!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = VMULT.M rng = vmultM!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = VRODOOA.M rng = vrodoaM!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = VRODOAD.M rng = vrodoadM!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = VMULTA.M rng = vmultaM!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = ESTOQUE.M rng = estoqueM!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = EST1.L rng = est1L!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = EST1.M rng = est1M!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = ESTM.L rng = estmL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = ESTM.M rng = estmM!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = EST12.L rng = est12L!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = EST12.M rng = est12M!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = DEMIGUAL.L rng = demL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = DEMIGUAL.M rng = demM!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = OFER.L rng = oferL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = OFER.M rng = oferM!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = CAPOPE.L rng = capopeL!a1:z100000000 rdim = 1'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = CAPOPE.M rng = capopeM!a1:z100000000 rdim = 1'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = CAPOPEM.L rng = capopemL!a1:z100000000 rdim = 1'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = CAPOPEM.M rng = capopemM!a1:z100000000 rdim = 1'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = CAPARM.L rng = caparmL!a1:z100000000 rdim = 2'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx EQU = CAPARM.M rng = caparmM!a1:z100000000 rdim = 2'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = TRANSPORTERODO rng = SUMMARY!a1:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = TRANSPORTEMULT rng = SUMMARY!a2:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = TRANSPORTERODOOA rng = SUMMARY!a3:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = TRANSPORTERODOAD rng = SUMMARY!a4:z100000000 rdim = 0'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RT.gdx var = TRANSPORTEMULTA rng = SUMMARY!a5:z100000000 rdim = 0'
```

APÊNDICE S – Script (Software GAMS) do modelo de otimização utilizado no cenário RTA

\$ONECHO > parametros.txt

```

set = O rng = set!b1:b1000000      rdim = 1
set = A rng = set!d1:d1000000      rdim = 1
set = D rng = set!f1:f1000000      rdim = 1
set = P rng = set!p1:p1000000      rdim = 1
set = E rng = set!l1:l1000000      rdim = 1
set = M rng = set!n1:n1000000      rdim = 1
set = FRODOOA rng = Foa!a1:c1000000 rdim = 3
set = FRODOAD rng = Fad!a1:c1000000 rdim = 3
set = FRODO rng = Fod!a1:c1000000  rdim = 3
set = FMULT rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
set = FMULTA rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
par = OFERTA rng = of!a1:d1000000   rdim = 3
par = DEMANDA rng = dem!a1:d1000000  rdim = 3
par = DEMANDAT rng = demtotal!a1:c100000 rdim = 2
par = DEMANDAMAX rng = demmmmax!a1:c10000 rdim = 2
par = CRODO rng = Fod!a1:d1000000   rdim = 3
par = CMULT rng = Foedm!a1:e1000000  rdim = 4
par = CRODOOA rng = Foa!a1:d1000000  rdim = 3
par = CRODOAD rng = Fad!a1:d1000000  rdim = 3
par = CMULTA rng = Foedm!a1:e1000000 rdim = 4
par = ESTINI rng = Eini!a1:c1000000  rdim = 2
par = ESTFIN rng = Efin!a1:c1000000  rdim = 2
par = CAPE rng = CapE!a1:b1000000   rdim = 1
par = CAPEM rng = CapEM!a1:b1000000  rdim = 1
par = CAPA rng = CapA!a1:b1000000   rdim = 1
par = CARME rng = CarmE!a1:c1000000  rdim = 2
par = CARMM rng = CarmM!a1:c1000000  rdim = 2

```

\$OFFECHO

\$CALL GDXXRW setss4.xlsx @parametros.txt

\$GDXIN setss4.gdx

SETS

```

O          Regioes Produtoras
A          Armazens
D          Destino
P          Produtos
E          Terminal de transbordo de entrada
M          Meses
FMULT(O,E,D,M)    Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação
FMULTA(A,E,D,M)   Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação com
utilização de armazenagem

```

;

\$LOAD O A D P E M FMULT FMULTA

PARAMETERS

```

OFERTA(O,P,M)    Oferta das mesos produtoras

```


DEMANDA(D,P,M) Demanda do porto e regiões consumidoras
 CRODO(O,D,M) Custo total do corredor rodoviario direto
 CMULT(O,E,D,M) Custo total do corredor multimodal direto
 CRODOOA(O,A,M) Custo da origem ao armazem
 CRODOAD(A,D,M) Custo do corredor rodoviario armazem destino
 CMULTA(A,E,D,M) Custo do corredor multimodal com armazem
 ESTINI(A,P) Estoque inicial nas mesorregiões
 ESTFIN(A,P) Estoque final nas mesorregioes
 CAPE(E) Capacidade operacional dos terminais de transbordo
 CAPEM(E) Capacidade máxima mensal dos terminais de transbordo
 CAPA(A) Capacidade de armazenagem de cada mesorregião
 CARME(A,P) Custo fixo de entrada nos armazéns
 CARMM(A,P) Custo variável mensal de estoque

;

\$LOAD OFERTA DEMANDA CRODO CMULT CRODOOA CRODOAD CMULTA ESTINI ESTFIN CAPE
 CAPEM CAPA CARME CARMM

VARIABLES

Z Funcao objetivo
 VRODO(O,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviario direto
 VMULT(O,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal direto
 VRODOOA(O,A,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário origem a armazem
 VRODOAD(A,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário armazem a destino
 VMULTA(A,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal com armazém
 ESTOQUE(A,P,M) Estoque na mesorregiao 'a' do produto 'p' no mês 'm'

*VARIABLES AUXILIARES

TRANSPORTERODO
 TRANSPORTEMULT
 TRANSPORTERODOOA
 TRANSPORTERODOAD
 TRANSPORTEMULTA
 ARMAZENAGEM

;

POSITIVE VARIABLES VRODO, VMULT, VRODOOA, VRODOAD, VMULTA, ESTOQUE,
 TRANSPORTERODO, TRANSPORTEMULT, TRANSPORTERODOOA, TRANSPORTERODOAD,
 TRANSPORTEMULTA, ARMAZENAGEM;

EQUATIONS

FOB Equacao de custo total do problema
 EST1 Estoque no primeiro mes
 ESTM Estoque nos meses posteriores
 EST12 Estoque no ultimo mes
 DEMIGUAL Demanda
 OFER Oferta das regioes produtoras
 VAL1 Equilibrio de estoque no mes 1
 VALM Equilibrio de estoque nos meses posteriores
 CAPOPE Capacidade operacional dos terminais
 CAPOPEM Capacidade operacional dos terminais (mensal)
 CAPARM Capacidade de armazenagem

EQ001
EQ002
EQ003
EQ004
EQ005
EQ006
VITORIA

;

FOB.. $Z = E = \text{SUM}((O,D,P,M), \text{VRODO}(O,D,P,M)*\text{CRODO}(O,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,E,D,P,M), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)*\text{CMULT}(O,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CRODOOA}(O,A,M))$
 $+ \text{SUM}((A,D,P,M), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)*\text{CRODOAD}(A,D,M))$
 $+ \text{SUM}((A,E,D,P,M), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)*\text{CMULTA}(A,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CARME}(A,P))$
 $+ \text{SUM}((A,P,M), \text{ESTOQUE}(A,P,M)*\text{CARMM}(A,P));$
EST1(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,'1') = E = \text{ESTINI}(A,P) + \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)));$
ESTM(A,P,M)\$ (ORD(M)GT 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{ESTOQUE}(A,P,M-1) + \text{SUM}((O),$
 $\text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)));$
EST12(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 12).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{ESTFIN}(A,P);$
DEMIGUAL(D,P,M).. $\text{SUM}((O), \text{VRODO}(O,D,P,M)) + \text{SUM}((O,E),$
 $\text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((A), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((A,E),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) = E = \text{DEMANDA}(D,P,M);$
OFER(O,P,M).. $\text{SUM}((A), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) + \text{SUM}((D), \text{VRODO}(O,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) = E = \text{OFERTA}(O,P,M);$
VAL1(A,P,M)\$ (ORD(M)EQ 1).. $\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((E,D),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) = L = \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) + \text{ESTINI}(A,P);$
VALM(A,P,M)\$ (ORD(M)GT 1).. $\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((E,D),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) = L = \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) + \text{ESTOQUE}(A,P,M-1);$
CAPOPE(E).. $\text{SUM}((O,D,P,M), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) + \text{SUM}((A,D,P,M),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) = L = \text{CAPE}(E);$
CAPOPEM(E,M).. $\text{SUM}((O,D,P), \text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)) + \text{SUM}((A,D,P),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)) = L = \text{CAPEM}(E);$
CAPARM(A,M).. $\text{SUM}((P), \text{ESTOQUE}(A,P,M)) = L = \text{CAPA}(A);$

*Equações para auxílio

EQ001.. $\text{TRANSPORTERODO} = E = \text{SUM}((O,D,P,M),$
 $\text{VRODO}(O,D,P,M)*\text{CRODO}(O,D,M));$
EQ002.. $\text{TRANSPORTEMULT} = E = \text{SUM}((O,E,D,P,M),$
 $\text{VMULT}(O,E,D,P,M)\$FMULT(O,E,D,M)*\text{CMULT}(O,E,D,M));$
EQ003.. $\text{TRANSPORTERODOOA} = E = \text{SUM}((O,A,P,M),$
 $\text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CRODOOA}(O,A,M));$
EQ004.. $\text{TRANSPORTERODOAD} = E = \text{SUM}((A,D,P,M),$
 $\text{VRODOAD}(A,D,P,M)*\text{CRODOAD}(A,D,M));$
EQ005.. $\text{TRANSPORTEMULTA} = E = \text{SUM}((A,E,D,P,M),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M)\$FMULTA(A,E,D,M)*\text{CMULTA}(A,E,D,M));$
EQ006.. $\text{ARMAZENAGEM} = E = \text{SUM}((O,A,P,M),$
 $\text{VRODOOA}(O,A,P,M)*\text{CARME}(A,P)) + \text{SUM}((A,P,M), \text{ESTOQUE}(A,P,M)*\text{CARMM}(A,P));$
VITORIA(D)\$ (ORD(D)EQ 39).. $\text{SUM}((O,P,M), \text{VRODO}(O,D,P,M)) + \text{SUM}((A,P,M),$
 $\text{VRODOAD}(A,D,P,M)) = E = 0$

MODEL TRANSBORDO /ALL/;

SOLVE TRANSBORDO USING LP MINIMIZING Z;

EXECUTE_UNLOAD "RTA.gdx"

VRODO.L, VMULT.L, VRODOOA.L, VRODOAD.L, VMULTA.L, ESTOQUE.L,
 VRODO.M, VMULT.M, VRODOOA.M, VRODOAD.M, VMULTA.M, ESTOQUE.M,
 EST1.L, EST1.M, ESTM.L, ESTM.M, EST12.L, EST12.M
 DEMIGUAL.L, DEMIGUAL.M, OFER.L, OFER.M,
 CAPOPE.L, CAPOPE.M,
 CAPOPEM.L, CAPOPEM.M,
 CAPARM.L, CAPARM.M,
 TRANSPORTERODO.L, TRANSPORTEMULT.L, TRANSPORTERODOOA.L,
 TRANSPORTERODOAD.L, TRANSPORTEMULTA.L,
 ARMAZENAGEM.L

;

EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = VRODO.L rng = vrodo!a1:z100000000 rdim = 4';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = VMULT.L rng = vmult!a1:z100000000 rdim = 5';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = VRODOOA.L rng = vrodoa!a1:z100000000 rdim = 4';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = VRODOAD.L rng = vrodoad!a1:z100000000 rdim = 4';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = VMULTA.L rng = vmulta!a1:z100000000 rdim = 5';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = ESTOQUE.L rng = estoque!a1:z100000000 rdim = 3';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = VRODO.M rng = vrodoM!a1:z100000000 rdim = 4';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = VMULT.M rng = vmultM!a1:z100000000 rdim = 5';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = VRODOOA.M rng = vrodoam!a1:z100000000 rdim = 4';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = VRODOAD.M rng = vrodoadM!a1:z100000000 rdim = 4';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = VMULTA.M rng = vmultaM!a1:z100000000 rdim = 5';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = ESTOQUE.M rng = estoqueM!a1:z100000000 rdim = 3';
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = EST1.L rng = est1L!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = EST1.M rng = est1M!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = ESTM.L rng = estmL!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = ESTM.M rng = estmM!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = EST12.L rng = est12L!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = EST12.M rng = est12M!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = DEMIGUAL.L rng = demL!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = DEMIGUAL.M rng = demM!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = OFER.L rng = oferL!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = OFER.M rng = oferM!a1:z100000000 rdim = 3'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = CAPOPE.L rng = capopeL!a1:z100000000 rdim = 1'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = CAPOPE.M rng = capopeM!a1:z100000000 rdim = 1'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = CAPOPEM.L rng = capopemL!a1:z100000000 rdim = 1'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = CAPOPEM.M rng = capopemM!a1:z100000000 rdim = 1'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = CAPARM.L rng = caparmL!a1:z100000000 rdim = 2'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx EQU = CAPARM.M rng = caparmM!a1:z100000000 rdim = 2'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = TRANSPORTERODO rng = SUMMARY!a1:z100000000 rdim = 0'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = TRANSPORTEMULT rng = SUMMARY!a2:z100000000 rdim = 0'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = TRANSPORTERODOOA rng = SUMMARY!a3:z100000000 rdim = 0'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = TRANSPORTERODOAD rng = SUMMARY!a4:z100000000 rdim = 0'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = TRANSPORTEMULTA rng = SUMMARY!a5:z100000000 rdim = 0'
 EXECUTE 'gdxxrw.exe RTA.gdx var = ARMAZENAGEM rng = SUMMARY!a6:z100000000 rdim = 0'

APÊNDICE T – *Script (Software GAMS) do modelo de otimização utilizado no cenário RTP*

\$ONECHO > parametros.txt

```

set = O rng = set!b1:b1000000      rdim = 1
set = A rng = set!d1:d1000000      rdim = 1
set = D rng = set!f1:f1000000      rdim = 1
set = P rng = set!p1:p1000000      rdim = 1
set = E rng = set!l1:l1000000      rdim = 1
set = M rng = set!n1:n1000000      rdim = 1
set = FRODOOA rng = Foa!a1:c1000000  rdim = 3
set = FRODOAD rng = Fad!a1:c1000000  rdim = 3
set = FRODO rng = Fod!a1:c1000000   rdim = 3
set = FMULT rng = Foedm!a1:d1000000  rdim = 4
set = FMULTA rng = Foedm!a1:d1000000 rdim = 4
par = OFERTA rng = of!a1:d1000000    rdim = 3
par = DEMANDA rng = dem!a1:d1000000  rdim = 3
par = DEMANDAT rng = demtotal!a1:c100000 rdim = 2
par = DEMANDAMAX rng = demmmmax!a1:c10000 rdim = 2
par = CRODO rng = Fod!a1:d1000000    rdim = 3
par = CMULT rng = Foedm!a1:e1000000  rdim = 4
par = CRODOOA rng = Foa!a1:d1000000  rdim = 3
par = CRODOAD rng = Fad!a1:d1000000  rdim = 3
par = CMULTA rng = Foedm!a1:e1000000 rdim = 4
par = ESTINI rng = Eini!a1:c1000000   rdim = 2
par = ESTFIN rng = Efin!a1:c1000000   rdim = 2
par = CAPE rng = CapE!a1:b1000000    rdim = 1
par = CAPEM rng = CapEM!a1:b1000000  rdim = 1
par = CAPA rng = CapA!a1:b1000000    rdim = 1
par = CPORTO rng = Cpo!a1:d1000000    rdim = 3

```

\$OFFECHO

\$CALL GDXXRW setss4.xlsx @parametros.txt

\$GDXIN setss4.gdx

SETS

```

O          Regioes Produtoras
A          Armazens
D          Destino
P          Produtos
E          Terminal de transbordo de entrada
M          Meses
FMULT(O,E,D,M)    Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação
FMULTA(A,E,D,M)   Combinacoes plausiveis do fluxo multimodal com destino a exportação com
utilização de armazenagem
;

```

\$LOAD O A D P E M FMULT FMULTA

PARAMETERS

```

OFERTA(O,P,M)    Oferta das mesos produtoras

```

DEMANDA(D,P,M) Demanda do porto e regiões consumidoras
 CRODO(O,D,M) Custo total do corredor rodoviario direto
 CMULT(O,E,D,M) Custo total do corredor multimodal direto
 CRODOOA(O,A,M) Custo da origem ao armazem
 CRODOAD(A,D,M) Custo do corredor rodoviario armazem destino
 CMULTA(A,E,D,M) Custo do corredor multimodal com armazem
 ESTINI(A,P) Estoque inicial nas mesorregiões
 ESTFIN(A,P) Estoque final nas mesorregioes
 CAPE(E) Capacidade operacional dos terminais de transbordo
 CAPEM(E) Capacidade máxima mensal dos terminais de transbordo
 CAPA(A) Capacidade de armazenagem de cada mesorregião
 CPORTO(D,P,M) Custo portuario

;

\$LOAD OFERTA DEMANDA CRODO CMULT CRODOOA CRODOAD CMULTA ESTINI ESTFIN CAPE
 CAPEM CAPA CPORTO

VARIABLES

Z Funcao objetivo
 VRODO(O,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviario direto
 VMULT(O,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal direto
 VRODOOA(O,A,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário origem a armazem
 VRODOAD(A,D,P,M) Volume movimentado no corredor rodoviário armazem a destino
 VMULTA(A,E,D,P,M) Volume movimentado no corredor multimodal com armazém
 ESTOQUE(A,P,M) Estoque na mesorregiao 'a' do produto 'p' no mês 'm'
 CPOR(D,P,M) Variável de custo portuário

*VARIABLES AUXILIARES

TRANSPORTERODO
 TRANSPORTEMULT
 TRANSPORTERODOOA
 TRANSPORTERODOAD
 TRANSPORTEMULTA
 PORTUARIOTOTAL

;

POSITIVE VARIABLES VRODO, VMULT, VRODOOA, VRODOAD, VMULTA, ESTOQUE, CPOR,
 TRANSPORTERODO, TRANSPORTEMULT, TRANSPORTERODOOA, TRANSPORTERODOAD,
 TRANSPORTEMULTA, PORTUARIOTOTAL;

EQUATIONS

FOB Equacao de custo total do problema
 EST1 Estoque no primeiro mes
 ESTM Estoque nos meses posteriores
 EST12 Estoque no ultimo mes
 DEMIGUAL Demanda
 OFER Oferta das regioes produtoras
 VAL1 Equilibrio de estoque no mes 1
 VALM Equilibrio de estoque nos meses posteriores

CAPOPE Capacidade operacional dos terminais
 CAPOPEM Capacidade operacional dos terminais (mensal)
 CAPARM Capacidade de armazenagem
 CPORTUARIO Custo portuário
 EQ001
 EQ002
 EQ003
 EQ004
 EQ005
 EQ007
 VITORIA

;

FOB.. $Z = E = \text{SUM}((O,D,P,M), \text{VRODO}(O,D,P,M) * \text{CRODO}(O,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,E,D,P,M), \text{VMULT}(O,E,D,P,M) \$ \text{FMULT}(O,E,D,M) * \text{CMULT}(O,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((O,A,P,M), \text{VRODOOA}(O,A,P,M) * \text{CRODOOA}(O,A,M))$
 $+ \text{SUM}((A,D,P,M), \text{VRODOAD}(A,D,P,M) * \text{CRODOAD}(A,D,M))$
 $+ \text{SUM}((A,E,D,P,M), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M) \$ \text{FMULTA}(A,E,D,M) * \text{CMULTA}(A,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((D,P,M), \text{CPOR}(D,P,M));$

EST1(A,P,M)\$(ORD(M)EQ 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,'1') = E = \text{ESTINI}(A,P) + \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M) \$ \text{FMULTA}(A,E,D,M));$

ESTM(A,P,M)\$(ORD(M)GT 1).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{ESTOQUE}(A,P,M-1) + \text{SUM}((O),$
 $\text{VRODOOA}(O,A,P,M))$
 $- (\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULTA}(A,E,D,P,M) \$ \text{FMULTA}(A,E,D,M));$

EST12(A,P,M)\$(ORD(M)EQ 12).. $\text{ESTOQUE}(A,P,M) = E = \text{ESTFIN}(A,P);$
 DEMIGUAL(D,P,M).. $\text{SUM}((O), \text{VRODO}(O,D,P,M)) + \text{SUM}((O,E),$
 $\text{VMULT}(O,E,D,P,M) \$ \text{FMULT}(O,E,D,M))$
 $+ \text{SUM}((A), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((A,E),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M) \$ \text{FMULTA}(A,E,D,M)) = E = \text{DEMANDA}(D,P,M);$

OFER(O,P,M).. $\text{SUM}((A), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) + \text{SUM}((D), \text{VRODO}(O,D,P,M))$
 $+ \text{SUM}((E,D), \text{VMULT}(O,E,D,P,M) \$ \text{FMULT}(O,E,D,M)) = E = \text{OFERTA}(O,P,M);$

VAL1(A,P,M)\$(ORD(M)EQ 1).. $\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((E,D),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M) \$ \text{FMULTA}(A,E,D,M)) = L = \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) + \text{ESTINI}(A,P);$

VALM(A,P,M)\$(ORD(M)GT 1).. $\text{SUM}((D), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((E,D),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M) \$ \text{FMULTA}(A,E,D,M)) = L = \text{SUM}((O), \text{VRODOOA}(O,A,P,M)) + \text{ESTOQUE}(A,P,M-1);$

CAPOPE(E).. $\text{SUM}((O,D,P,M), \text{VMULT}(O,E,D,P,M) \$ \text{FMULT}(O,E,D,M)) + \text{SUM}((A,D,P,M),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M) \$ \text{FMULTA}(A,E,D,M)) = L = \text{CAPE}(E);$

CAPOPEM(E,M).. $\text{SUM}((O,D,P), \text{VMULT}(O,E,D,P,M) \$ \text{FMULT}(O,E,D,M)) + \text{SUM}((A,D,P),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M) \$ \text{FMULTA}(A,E,D,M)) = L = \text{CAPEM}(E);$

CAPARM(A,M).. $\text{SUM}((P), \text{ESTOQUE}(A,P,M)) = L = \text{CAPA}(A);$

CPORTUARIO(D,P,M).. $(\text{SUM}((O), \text{VRODO}(O,D,P,M)) + \text{SUM}((O,E),$
 $\text{VMULT}(O,E,D,P,M) \$ \text{FMULT}(O,E,D,M)) + \text{SUM}((A), \text{VRODOAD}(A,D,P,M)) + \text{SUM}((A,E),$
 $\text{VMULTA}(A,E,D,P,M) \$ \text{FMULTA}(A,E,D,M))) * \text{CPORTO}(D,P,M) = E = \text{CPOR}(D,P,M);$

*Equações para auxílio

EQ001.. $\text{TRANSPORTERODO} = E = \text{SUM}((O,D,P,M),$
 $\text{VRODO}(O,D,P,M) * \text{CRODO}(O,D,M));$

EQ002.. $\text{TRANSPORTEMULT} = E = \text{SUM}((O,E,D,P,M),$
 $\text{VMULT}(O,E,D,P,M) \$ \text{FMULT}(O,E,D,M) * \text{CMULT}(O,E,D,M));$

EQ003.. $\text{TRANSPORTERODOOA} = E = \text{SUM}((O,A,P,M),$
 $\text{VRODOOA}(O,A,P,M) * \text{CRODOOA}(O,A,M));$

```

EQ004..                                TRANSPORTERODOAD                =E=  SUM((A,D,P,M),
VRODOAD(A,D,P,M)*CRODOAD(A,D,M));
EQ005..                                TRANSPORTEMULTA                =E=  SUM((A,E,D,P,M),
VMULTA(A,E,D,P,M)$FMULTA(A,E,D,M)*CMULTA(A,E,D,M));
EQ007..                                PORTUARIOTOTAL                =E=  SUM((D,P,M), CPOR(D,P,M));

VITORIA(D)$ (ORD(D)EQ 39)..            SUM((O,P,M), VRODO(O,D,P,M)) + SUM((A,P,M),
VRODOAD(A,D,P,M)) =E= 0

```

```
;
```

```
*****
```

```
MODEL TRANSBORDO /ALL/;
```

```
SOLVE TRANSBORDO USING LP MINIMIZING Z;
```

```
EXECUTE_UNLOAD "RTP.gdx"
```

```

    VRODO.L, VMULT.L, VRODOOA.L, VRODOAD.L, VMULTA.L, ESTOQUE.L,
    VRODO.M, VMULT.M, VRODOOA.M, VRODOAD.M, VMULTA.M, ESTOQUE.M,
    EST1.L, EST1.M, ESTM.L, ESTM.M, EST12.L, EST12.M
    DEMIGUAL.L, DEMIGUAL.M, OFER.L, OFER.M,
    VAL1.L, VAL1.M, VALM.L, VALM.M,
    CAPOPE.L, CAPOPE.M,
    CAPARM.L, CAPARM.M
    CPORTUARIO.L, CPORTUARIO.M,
    TRANSPORTERODO.L,      TRANSPORTEMULT.L,      TRANSPORTERODOOA.L,
    TRANSPORTERODOAD.L, TRANSPORTEMULTA.L,
    PORTUARIOTOTAL.L

```

```
;
```

```

EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = VRODO.L rng = vrodo!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = VMULT.L rng = vmult!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = VRODOOA.L rng = vrodoa!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = VRODOAD.L rng = vrodoad!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = VMULTA.L rng = vmulta!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = ESTOQUE.L rng = estoque!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = VRODO.M rng = vrodoM!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = VMULT.M rng = vmultM!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = VRODOOA.M rng = vrodoaM!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = VRODOAD.M rng = vrodoadM!a1:z100000000 rdim = 4';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = VMULTA.M rng = vmultaM!a1:z100000000 rdim = 5';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = ESTOQUE.M rng = estoqueM!a1:z100000000 rdim = 3';
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = EST1.L rng = est1L!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = EST1.M rng = est1M!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = ESTM.L rng = estmL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = ESTM.M rng = estmM!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = EST12.L rng = est12L!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = EST12.M rng = est12M!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = DEMIGUAL.L rng = demL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = DEMIGUAL.M rng = demM!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = OFER.L rng = oferL!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = OFER.M rng = oferM!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = VAL1.L rng = val1L!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = VAL1.M rng = val1M!a1:z100000000 rdim = 3'
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = VALM.L rng = valmL!a1:z100000000 rdim = 3'

```

```
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = VALM.M rng = valmM!a1:z100000000 rdim = 3'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = CAPOPE.L rng = capopeL!a1:z100000000 rdim = 1'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = CAPOPE.M rng = capopeM!a1:z100000000 rdim = 1'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = CAPOPEM.L rng = capopemL!a1:z100000000 rdim = 1'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = CAPOPEM.M rng = capopemM!a1:z100000000 rdim = 1'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = CAPARM.L rng = caparmL!a1:z100000000 rdim = 2'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = CAPARM.M rng = caparmM!a1:z100000000 rdim = 2'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = CPORTUARIO.L rng = cportL!a1:z100000000 rdim = 3'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx EQU = CPORTUARIO.M rng = cportM!a1:z100000000 rdim = 3'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = TRANSPORTERODO rng = SUMMARY!a1:z100000000 rdim = 0'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = TRANSPORTEMULT rng = SUMMARY!a2:z100000000 rdim = 0'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = TRANSPORTERODOOA rng = SUMMARY!a3:z100000000 rdim = 0'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = TRANSPORTERODOAD rng = SUMMARY!a4:z100000000 rdim = 0'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = TRANSPORTEMULTA rng = SUMMARY!a5:z100000000 rdim = 0'  
EXECUTE 'gdxxrw.exe RTP.gdx var = PORTUARIOTOTAL rng = SUMMARY!a7:z100000000 rdim = 0'
```