



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

**OTIMIZAÇÃO E ANÁLISE DE RISCO DA CAPACIDADE PORTUÁRIA DA BACIA
AMAZÔNICA, QUANTO AO CRESCIMENTO DA DEMANDA DE GRÃOS E AO
AUMENTO DO PORTE DOS NAVIOS**

LUCIANO PINTO DE MORAES NETO

Belém – PA
Junho/2022

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

**OTIMIZAÇÃO E ANÁLISE DE RISCO DA CAPACIDADE PORTUÁRIA DA BACIA
AMAZÔNICA, QUANTO AO CRESCIMENTO DA DEMANDA DE GRÃOS E AO
AUMENTO DO PORTE DOS NAVIOS**

LUCIANO PINTO DE MORAES NETO

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

Área de Concentração: Engenharia Naval.
Orientador: Prof. Dr. Hito Braga de Moraes.

Belém – PA

Junho/2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Neto, Luciano Pinto de Moraes.

Otimização e análise de risco da capacidade portuária da bacia amazônica, quanto ao crescimento da demanda de grãos e ao aumento do porte dos navios / Luciano Pinto de Moraes Neto -; orientador – Hito Braga de Moraes - Belém, 2022.

- ___ f.

Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Belém, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Hito Moraes.

1. Probabilidade; 2. Logística; 3. Estatística; 4. Risco; 5. Porto.

UFPA / BC

LUCIANO PINTO DE MORAES NETO

**OTIMIZAÇÃO E ANÁLISE DE RISCO DA CAPACIDADE PORTUÁRIA DA BACIA
AMAZÔNICA, QUANTO AO CRESCIMENTO DA DEMANDA DE GRÃOS E AO
AUMENTO DO PORTE DOS NAVIOS**

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

Belém/PA, 03 de junho de 2022.

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Hito Braga de Moraes (Orientador)
Programa de Pós-graduação em Engenharia Naval/UFPA (Presidente)

Prof. Dr. Marcus Pinto da Costa da Rocha (Membro Interno)
Programa de Pós-graduação em Engenharia Naval/UFPA

Prof. Dr. Nelio Moura de Figueiredo (Membro Interno)
Programa de Pós-graduação em Engenharia Naval/UFPA

Prof. Dr. Marcus Vinicius Guerra Seraphico de Assis Carvalho (Membro Externo)
Faculdade de Engenharia Civil/UFPA

Aos meus pais, por todo incentivo e apoio
Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me permitido chegar até aqui.

À UFPA pelas estruturas e oportunidades dadas até o presente momento. Ao Instituto de Tecnologia (ITEC) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval (PPGNAV), que me proporcionaram todos os ensinamentos adquiridos para construção desta pesquisa e minha própria construção, como profissional.

Ao meu querido orientador, professor Hito, que me auxiliou da melhor forma durante o desenvolvimento desta pesquisa, sempre me apoiando e buscando as melhores soluções.

A todos os professores que compartilharam seus conhecimentos em prol desta pesquisa.

À minha família, em especial meus pais, fonte de incentivo e apoio em todos os momentos de minha vida, sem os quais nada seria possível.

À minha namorada, que me auxiliou e ofereceu suporte, sempre me ajudando no decorrer de mais esta fase da minha vida.

Enfim, obrigado aos que, de alguma forma, me ajudaram até aqui, gratidão a todos.

“Todos os projetos envolvem riscos, mas é vital entender o que esses riscos são e como eles podem afetar seu orçamento e cronograma”

(Steve Cotterell)

RESUMO

O transporte marítimo nos últimos anos vem ocasionando uma grande mudança nos portos do mundo, devido ao avanço da tecnologia que possibilitou a construção de embarcações cada vez maiores para diminuir o custo do frete e transportar mais cargas. Atento a esta realidade, este trabalho desenvolve uma avaliação dos terminais portuários da bacia amazônica, utilizando a teoria de filas combinada com a análise de risco e otimização para avaliar a capacidade portuária frente as futuras demandas de grãos para a região, visto que com o avanço da tecnologia, vem sendo fabricados navios maiores e capazes de transportar grandes quantidades de carga, com esse avanço, os portos existentes precisam adaptar sua infraestrutura conforme as novas tendências da construção naval. Realizou-se nessa dissertação a coleta de dados da movimentação de carga e da capacidade dos terminais portuários existentes na região amazônica com foco nos terminais de exportação para o longo curso. Um modelo foi desenvolvido utilizando a teoria de filas para aferimento da capacidade dos terminais e a produtividade dos navios para utilização na plataforma @RISK que executa a otimização combinada com a análise de risco gerando gráficos de distribuição e de tornado possibilitando a análise dos terminais, ajudando na tomada de decisão sobre o desempenho dos terminais e navios de maneira integrada. A pesquisa possibilita através de simulações geradas, a análise de vários cenários para a movimentação de grãos desses terminais e qual o impacto que navios maiores trarão para a infraestrutura portuária da região. Tendo em vista que a previsão de movimentação dos terminais da bacia amazônica para 2030 é de aproximadamente 60 milhões de toneladas, concluiu-se que estes terminais não estão preparados para atingir esta meta caso não haja investimento em seu desenvolvimento.

Palavras-chave: Probabilidade; Logística; Estatística; Risco; Porto.

ABSTRACT

Maritime transport in recent years has brought about a great change in ports around the world due to the advancement of technology which allowed the construction of increasingly larger vessels to reduce freight and transport more cargo. Aware of this reality, this work develops an assessment of port terminals in the Amazon basin, using queuing theory combined with risk analysis and optimization to evaluate port capacity in the face of future grain demands for the region, given that with the advance technology, larger ships are being manufactured and capable of transporting large amounts of cargo, with this advance, the existing ports need to adapt their infrastructure according to the new trends in shipbuilding. In this dissertation, data was collected of movement of cargo and capacity of the existing port terminals in the Amazon region with a focus on long-haul export terminals. A model was developed using the queuing theory to gauge the capacity of terminals and the productivity of ships for use in the @RISK platform, which uses optimization combined with risk analysis, generating distribution and tornado graphs, enabling the analysis of the terminals. help in decision-making on the performance of terminals and ships in an integrated manner. The research allows, through generated simulations, the analysis of various scenarios for the movement of grain from these terminals and the impact that larger ships will bring to the region's port infrastructure. Considering that the estimated movement of terminals in the Amazon basin for 2030 is approximately 60 million tons, where it was observed that the terminals are not prepared to achieve this stipulated target if they do not invest in their development.

Keywords: Probability; Logistics; Statistic; Risk; Port.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Portos do Arco Amazônico.....	39
Figura 2 – Localização do Terminal da Hidrovias do Brasil.	42
Figura 3 – Terminal da Hidrovias do Brasil.	42
Figura 4 – Localização do Terminal da Unitapajós.	43
Figura 5 – Terminal da Unitapajós.	44
Figura 6 – Localização do Terminal de Grãos Ponta de Montanha.	46
Figura 7 – Terminal de Grãos Ponta de Montanha – TGPM.....	46
Figura 8 – Terminal de Grãos Ponta de Montanha – TGPM.....	47
Figura 9 – Floating crane utilizado para as operações de transbordo ao largo.	48
Figura 10 – Localização do Terminal da Cargill.	49
Figura 11 – Terminal da Cargill em Santarém.	50
Figura 12 – Localização do Terminal da CDP em Santarém.	51
Figura 13 – Porto da CDP em Santarém.	53
Figura 14 – Terminal de grãos da CDP em Santarém.	53
Figura 15 – Localização Terminal da CIANPORT.....	54
Figura 16 – Terminal da CIANPORT em Santana no Amapá.	55
Figura 17 – Localização Terminal da HERMASA.	56
Figura 18 - Terminal da HERMASA em Itacoatiara no Amazonas.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Abertura da Exportação Brasileira.....	30
Gráfico 2 – Evolução da Prancha média da movimentação de graneis agrícolas no Estado do Pará.....	66
Gráfico 3 – Movimentação máxima de um berço em milhões de toneladas. .	68
Gráfico 4 – Taxa de ocupação dos berços x Tempo de espera na fila.	68
Gráfico 5 – Custo diário do navio x Tempo de espera na fila.	69
Gráfico 6 – Produtividade anual do navio x Tempo de espera na fila (Linha: Bacia Amazônica – Xangai).	70
Gráfico 7 – Produtividade anual do navio x Tempo de espera na fila (Linha: Bacia Amazônica – Roterdã).....	70
Gráfico 8 – Produtividade anual do navio x Taxa de ocupação x Tempo de espera na fila.....	71
Gráfico 9 – Taxa de crescimento da movimentação x Tempo de espera na fila em dias.....	71
Gráfico 10 – Custo por tonelada de soja transportada x DWT.....	72
Gráfico 11 – Custo (US\$) /dia do navio por capacidade de carga.	74
Gráfico 12 – Gráfico de tornado das variáveis da movimentação de graneis agrícolas.....	89
Gráfico 13 – Gráfico de tornado das variáveis da movimentação de graneis agrícolas.....	90
Gráfico 14 – Gráfico de tornado das variáveis que influenciam.....	90
Gráfico 15 – Gráfico de tornado das variáveis que influenciam.....	91
Gráfico 16 – Gráfico de Distribuição da movimentação anual.	92
Gráfico 17 – Gráfico de Distribuição da Movimentação anual considerando a meta para 2030.	92
Gráfico 18 – Gráfico de Distribuição da Movimentação anual considerando a meta para 2030.	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção, Consumo e exportação de milho (mil toneladas).	40
Tabela 2 – Produção, Consumo e exportação de soja em grão (mil toneladas).	40
Tabela 3 – Quadro resumo das características do TGPM.....	45
Tabela 4 – Tabela com as características técnicas do Floating Crane.	47
Tabela 5 – Exportação de soja em grão, fretes e economias por destino.	62
Tabela 6 – Estrutura da Tarifa Portuária da Companhia Doca do Pará.	63
Tabela 7 – Utilização da Infraestrutura Aquaviária.....	64
Tabela 8 – Utilização das Instalações de Acostagem.	64
Tabela 9 – Utilização da Infraestrutura Terrestre.	65
Tabela 10 – Cálculo da capacidade máxima de movimentação de grãos dos 9 (nove) terminais existentes no Estado do Pará para um tempo de espera na fila de 5 dias.....	67
Tabela 11 – Dados de entrada do modelo.	74
Tabela 12 – Dados do modelo.	75
Tabela 13 – Dados da rota Bacia Amazônica – Xangai.	76
Tabela 14 – Dados da rota Bacia Amazônica – Roterdã.....	76
Tabela 15 – Dados da rota Bacia Amazônica – Roterdã.....	77
Tabela 16 – Dados atuais calculados com o modelo proposto.	79
Tabela 17 – Dados variáveis no mínimo.	81
Tabela 18 – Resultado da otimização a linha bacia Amazônica – Xangai.....	82
Tabela 19 – Resultados após Otimização dos custos.	82
Tabela 20 – Resultado da otimização a linha bacia Amazônica – Roterdã....	82
Tabela 21 – Resultados após Otimização dos custos.	82
Tabela 22 – Resultado da otimização a linha bacia Amazônica – Xangai.....	83
Tabela 23 – Resultados após Otimização dos custos – Xangai.....	83
Tabela 24 – Resultado da otimização a linha bacia Amazônica – Roterdã....	83
Tabela 25 – Resultados após Otimização dos custos – Roterdã.	84
Tabela 26 – Resultado da Otimização com 2 berços.	84
Tabela 27 – Resultado da otimização da Movimentação máxima por ano com 2 berços.....	85

Tabela 28 – Resultado da Otimização da movimentação com 2 berços.....	86
Tabela 29 – Resultado da Otimização da movimentação com 1 berço.....	87
Tabela 30 – Resultado da otimização da Movimentação máxima com Produção fixa de 783 t/h.....	88
Tabela 31 – Resultado da Otimização da movimentação máxima com Produção fixa de 783 t/h.....	88
Tabela 32 – Resumo das otimizações feitas para cada cenário.	95

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
AT&T	American Telephone and Telegraph
BRIC	Brasil, Rússia, Índia e China
BRS	Barry Rogliano Sales
CDP	Companhia Docas do Pará
CIANPORT	Companhia Norte de Navegação e Portos
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DWT	Deadweight Tonnage
FMI	Fundo Monetário Internacional
GNL	Gás Natural Liquefeito
HBSA	Hidrovias do Brasil
IMO	International Maritime Organization
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IVCR	Índice de Vantagem Comparativa Revelada
MMC	Método de Monte Carlo
NASA	National Aeronautics and Space Administration
RF	Rampa Fluvial
SMC	Simulação de Monte Carlo
TEUs	Twenty-foot Equivalent Unit
TGPM	Terminal de Grãos Ponta de Montanha
TPB	Tonelagem de Porte Bruto (dead-weight)
TUPs	Terminal de Uso Privativo

ULCV	Ultra Large Container Vessel
VLBC	Very Large Bulk Carriers
VLOC	Very Large Ore Carrier
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. JUSTIFICATIVA.....	20
1.2. HIPÓTESE	22
1.3. OBJETIVOS.....	22
1.3.1. Objetivo geral.....	22
1.3.2. Objetivos específicos.....	23
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	24
2.1. AUTORES SOBRE O TEMA	24
2.2. O CRESCIMENTO DOS BRICS E SEUS EFEITOS PARA O BRASIL.....	28
3. METODOLOGIA	31
3.1. ANÁLISE DE RISCOS E INCERTEZAS.....	34
3.2. MÉTODO DE MONTE CARLO (MMC)	36
3.3. @RISK PARA A ANÁLISE DE RISCO.....	37
4. DEMANDAS ATUAL E FUTURA DE SOJA E MILHO	38
5. CARACTERÍSTICAS DOS TERMINAIS EXPORTADORES DE GRÃOS DA BACIA AMAZÔNICA	41
5.1. TERMINAL DA HIDROVIAS DO BRASIL – HBSA	41
5.2. TERMINAL DA UNITAPAJÓS.....	43
5.3. TERMINAL DE GRÃOS PONTA DE MONTANHA – TGPM	45
5.4. TERMINAL FLUTUANTE DA MEGA LOGÍSTICA EM VILA DO CONDE	47
5.5. TERMINAL DA CARGILL EM SANTARÉM	48
5.6. TERMINAL DA CDP EM SANTARÉM.....	50
5.7. TERMINAL DA COMPANHIA NORTE DE NAVEGAÇÃO E PORTOS (CIANPORT) EM SANTANA NO AMAPÁ.....	54
5.8. TERMINAL DA HERMASA EM ITACOATIARA NO AMAZONAS.....	55

6.	MODELO DE AFERIÇÃO DE CAPACIDADE DOS TERMINAIS	57
7.	ANÁLISE DOS FRETES PARA OS NAVIOS DE TRANSPORTE DE GRÃOS	61
8.	DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS PORTUÁRIOS.....	63
8.1.	TERMINAL DE GRÃOS VEGETAIS.....	63
8.2.	CUSTO OPERACIONAL DOS TERMINAIS	63
9.	ANÁLISE DA CAPACIDADE MÁXIMA DE MOVIMENTAÇÃO DOS TERMINAIS DE GRÃOS AGRÍCOLAS DA BACIA AMAZÔNICA E DESEMPENHO DOS NAVIOS NAS ROTAS.....	66
10.	ANÁLISE DE OTIMIZAÇÃO E RISCO DOS TERMINAIS	73
10.1.	MODELO PARA ANÁLISE.....	73
10.2.	MODELO COM OS DADOS DA SITUAÇÃO ATUAL DO SISTEMA DE TRANSPORTE DE GRÃO DA AMAZÔNIA.....	77
11.1.	RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO	81
11.2.	RESULTADOS DA ANÁLISE DE RISCO.....	89
12.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94
13.	REFERÊNCIAS.....	97

1. INTRODUÇÃO

As exportações de grãos de soja, milho e farelo de soja pelos portos marítimos brasileiros, em 2020, totalizaram 127,4 milhões de toneladas, de acordo com o Estatístico Aquaviário da ANTAQ (Agência Nacional de Transporte Aquaviário), o equivalente a 24,5% do volume total de granéis sólidos exportados (minério de ferro representou 64,8%). Ainda de acordo com a ANTAQ, do total de grãos e farelo exportados, 33,2% foram embarcados em Santos; 32,7% em portos da Região Sul; 27,0% no Arco Norte; 4,3% no Terminal de Tubarão e 2,7% na Bahia.

Para o escoamento da produção nacional – em especial os grãos de soja e milho, mercado no qual o Brasil é líder mundial na exportação, além do farelo de soja, no qual é o segundo maior exportador – as traders utilizam terminais públicos, terminais arrendados em portos públicos e TUPs (terminais privados) espalhados por todo o país. Na busca pela redução do custo logístico e pela disponibilidade de capacidade para embarcar a carga para os países de destino, são utilizadas complexas soluções logísticas e diferentes modais de transporte, seja combinando o modal rodoviário com o transporte ferroviário ou com a navegação interior, até que a carga chegue aos terminais portuários marítimos.

Ainda de acordo com os dados do Estatístico Aquaviário da Agência Nacional de Transportes aquaviário (ANTAQ), 41,1% do volume dessas exportações teve como destino um porto na China; 28,5% destinaram-se a outros países da Ásia (desconsiderando China, Oriente Médio, CEI e Turquia); 13% na União Europeia; 5,9% no Oriente Médio; e 11,3% em outras regiões.

Segundo Carlos Frederico Alves e Tiago Buss (2021), o calado (profundidade imersa das embarcações) dos maiores navios graneleiros da classe Panamax, quando plenamente carregados (até cerca de 80 mil TPB), pode chegar a até aproximadamente 14 metros de profundidade e, atualmente, as instalações portuárias brasileiras que estão capacitadas para operá-los em sua capacidade máxima, ou muito próximo dela, são os TUPs (Terminal de Uso Privativo) localizados em Barcarena-PA; o Porto do Itaquí; o Terminal Portuário de Cotegipe; o Terminal de Tubarão; e o Porto de Santos.

A maioria destes terminais apresentam limitações de profundidade que dificultam ou impossibilitam uma ampliação futura do calado operacional para receber

navios maiores, como é o caso da limitação de 13,8 metros de profundidade imposta no Canal do Quiriri, principal acesso aos TUPs localizados em Barcarena-PA, o calado máximo de 14,5 metros no canal de acesso ao Porto de Santos, na preamar, ou até mesmo a limitação atual da Barra Norte do Rio Amazonas, na região do Arco Lamoso, de 11,7 metros, em relação à qual há estudos com vistas à ampliação para 11,9 metros, e um esforço para se chegar, futuramente, a 12,5 metros.

Cabe ressaltar que, no cenário atual, essa limitação da infraestrutura de acostagem para o atendimento de navios graneleiros até a classe Panamax não se configura como uma desvantagem competitiva muito relevante, tendo em vista que a maior parte dos terminais de grãos dos países importadores dos grãos agrícolas brasileiros, inclusive da China, também não possuem profundidade suficiente para receber navios maiores, nem capacidade de recepção nos armazéns de grãos. No entanto, da mesma forma que os portos chineses tiveram suas estruturas de atracação, armazenagem e de acesso terrestre adaptadas nos últimos anos para receberem navios Valemax/Chinamax (VLBC) carregados com minério de ferro e, no caso dos contêineres, navios ULCV, a expectativa é de que, nos próximos anos, os terminais de grãos estejam preparados para receberem navios Capesize.

Ainda no que diz respeito às tendências do mercado, 52% dos navios graneleiros e de carga geral que atracaram nos portos da região Sudeste em 2019, ano-base da versão mais atualizada do diagnóstico do Plano Nacional de Logística Portuária, tiveram seu calado restringido em virtude das características do canal de acesso (BRASIL, 2020). Tal constatação reforça a importância e o potencial impacto da implantação de instalações portuárias com capacidade para o atendimento de embarcações com dimensões superiores às comportadas atualmente.

Além disso, modelos de navios mais modernos, especialmente aqueles entregues a partir da segunda década do século 21, contam com tecnologias superiores e proporcionam maior eficiência energética, seguindo os protocolos da IMO (International Maritime Organization) que preveem a redução progressiva da emissão de gases de efeito estufa. Sendo assim, a utilização desses tipos de navios graneleiros – que em breve passarão a apresentar alternativas com amônia verde ou gás natural (GNL) como combustível para modelos com capacidade de mais de 100 mil toneladas, como já ocorre com porta-contêineres ULCV – tende a proporcionar ainda maiores ganhos de escala no transporte em rotas nas quais as instalações portuárias têm

capacidade de fornecer essa alternativa de abastecimento, ao passo que contribui para a sustentabilidade ambiental.

Segundo Péra et al., 2019, em seu estudo intitulado *Evaluation of Green Transport Corridors of Brazilian Soybean Exports to China*, pode-se observar que a estratégia que proporcionaria a maior redução de emissões de CO₂ neste fluxo logístico analisado, ao mesmo tempo a maior redução dos custos de transporte (até US\$ 9,54/t), é aquela que prevê a utilização de navios Capesize no transporte marítimo. Sendo assim, o estudo indica que a realização de investimentos em infraestrutura portuária para aumentar as dimensões máximas para a atracação de seus navios seria um catalisador de impactos positivos tanto no que diz respeito à redução dos custos de transporte quanto à sustentabilidade ambiental.

A carteira de encomendas global de navios graneleiros revela um movimento acelerado de crescimento das dimensões do perfil dessas embarcações nos próximos anos, observando-se uma participação nas encomendas de 37% de navios Capesize e 16% de navios VLOC, contra uma participação de 27,9% de navios Panamax (MAN ENERGY SOLUTIONS, 2019).

Este crescimento evidencia-se especialmente a partir da década de 90, momento em que começaram a ser entregues mais navios das classes Panamax e Capesize do que as até então predominantes Handysize e Handymax.

A projeção para as próximas entregas de navios graneleiros indica uma possível quebra da hegemonia do padrão Panamax para o comércio de grãos, que perdurou por anos, especialmente quando o seu fluxo era preponderantemente entre a América do Norte e a Europa ou Japão. A ampliação da oferta de navios da classe Capesize, bem como o desenvolvimento de terminais capazes de atender embarcações deste porte, torna os ganhos relativos com sua utilização ainda mais atrativos para os embarcadores.

1.1. JUSTIFICATIVA

A utilização do modal rodoviário para o transporte de cargas em grandes distâncias e quantidades, traz ao Brasil grande perda de competitividade dos produtos

brasileiros, o que afeta todo o país, sendo a região norte uma das mais afetadas devido a sua distância dos grandes centros consumidores. O desenvolvimento da infraestrutura portuária no estado do Pará, garante as empresas, localizadas na região, maior competitividade, por se situar geograficamente próxima dos principais mercados consumidores mundiais como a América do Norte, a Europa e a Ásia através do Canal do Panamá. A indústria naval vem sofrendo grandes mudanças nos últimos anos, com o avanço da tecnologia vem sendo criados navios maiores, capazes de transportar uma grande quantidade de carga, mas com esse avanço os portos existentes precisam adaptar sua infraestrutura para atender as novas tendências mundiais, o que levará os terminais portuários a se readequarem em termos de aumento de profundidade, infraestrutura de atracação, armazenagem e equipamentos de movimentação de cargas.

Em virtude deste Cenário, foi desenvolvida uma análise da infraestrutura portuária existente na bacia amazônica, com o objetivo de identificar o potencial de movimentação de grãos disponíveis na região, visando aferir a adequação de sua infraestrutura ao crescimento das demandas de cargas e ao crescimento de porte dos navios, visto que, caso isso não aconteça, provavelmente haverá a perda de exportação de grãos pelos terminais da bacia amazônica para outras regiões do país.

Segundo dados da Conab (2018), foram obtidas informações sobre a estimativa de movimentação de grãos para os próximos anos, sendo considerados somente os terminais da bacia amazônica, responsável por 30% da participação nas exportações brasileiras, assim foi feita uma estimativa de que para 2030 estes terminais precisariam movimentar aproximadamente 60 milhões de toneladas de grãos.

A análise proposta nesta dissertação foi combinada com o modelo de teoria de filas, adaptando-se a otimização e análise de risco, utilizando o método de Monte Carlo, que possibilita avaliar e analisar cenários dos impactos derivados do crescimento da demanda de grãos e do porte das embarcações.

Segundo Dávila et al. (2021), o tempo de atendimento dos navios é um dos principais indicadores de competitividade dos portos, em conjunto com o aumento do volume de transporte a granel. Desta forma, ter uma gestão eficiente de recursos escassos, como os berços, é uma opção crucial para aumentar a produtividade de todo o terminal. Em cenários reais, as informações disponíveis para os operadores

portuários podem variar uma vez que o planejamento seja elaborado. Eventos, erros ou modificações imprevistas na informação disponível podem levar a uma gestão ineficiente do terminal e o agendamento inicial pode se tornar inviável. Isso implica que o uso de abordagens determinísticas pode não ser suficiente para maximizar produtividade. Uma abordagem para otimizar e analisar os resultados e valores é inevitável para a obtenção de respostas sobre a situação atual dos portos paraenses, visto que mostrará os defeitos de cada porto e onde seria necessário um procedimento mais crítico em prol da maior produtividade do terminal portuário.

A ferramenta de análise, possibilita ao investidor o estabelecimento de critérios e fases para o crescimento das instalações portuárias do Estado do Pará, de maneira coordenada, visando atender as novas demandas projetadas para os próximos 30 anos. Além disto, também possibilita a identificação dos principais problemas dos terminais portuários da região e como eles se apresentarão face ao crescimento da demanda de cargas e ao avanço da tecnologia naval, possibilitando, com isto, programar adaptações considerando os principais riscos e incertezas dos empreendimentos portuários.

1.2. HIPÓTESE

Os terminais portuários de exportação de grãos, para a navegação de longo curso da bacia amazônica, não estão preparados para atender o crescimento das demandas de escoamento de grãos até 2030.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo geral

Analisar a capacidade portuária da bacia amazônica e a eficiência geral do transporte marítimo, considerando o navio e o porto como um único sistema a ser otimizado

1.3.2. Objetivos específicos

- Coletar os dados dos terminais da bacia Amazônica para análise;
- Criar um modelo baseado na teoria de filas para análise de capacidade de movimentação de cargas dos terminais portuário da bacia amazônica;
- Analisar os impactos do aumento da demanda e do porte dos navios na infraestrutura portuária da bacia amazônica;
- Estudo integrado do custo do sistema de transporte por rota de navegação, considerando os custos marítimos e portuários como um único custo a ser analisado;
- Realizar otimização e a análise de risco através do software @risk;
- Apresentar os resultados para diversos cenários.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 1 é apresentada a introdução junto a justificativa do tema, com os objetivos e a hipótese da pesquisa;

No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica;

No capítulo 3 é apresentada a metodologia da pesquisa;

No capítulo 4 são apresentadas as demandas atuais e futuras de soja e milho;

No capítulo 5 são apresentadas as características dos terminais exportadores de grãos da bacia amazônica;

No capítulo 6 é apresentado o modelo de aferição de capacidade dos terminais;

No capítulo 7 é feita a análise dos fretes para os navios de transporte de grãos;

No capítulo 8 é feita a determinação dos custos portuários;

No capítulo 9 é apresentado a análise da capacidade máxima de movimentação dos terminais de grãos agrícolas da bacia amazônica e desempenho dos navios nas rotas;

No capítulo 10 é apresentada as análises executadas;

No capítulo 11 é apresentado os resultados obtidos;

No capítulo 12 são apresentadas as conclusões da pesquisa;

No capítulo 13 as referências bibliográficas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A pesquisa teve origem em fontes primárias (de origem) e secundárias (resultado das fontes originais) para coleta de informações, tendo como base autores nacionais e internacionais, que discorrem sobre informações essenciais ao desenvolvimento desta dissertação, como:

- Avanço da tecnologia naval
- Problemas causado com o aumento de calado dos navios
- Análise de risco em portos
- Otimização de resultados
- Análise de terminais com o Método de Monte Carlo
- Análise de risco com o Método de Monte Carlos
- Método de Monte Carlo
- Teoria de filas

Além disso, a pesquisa também faz um paralelo sobre a situação do comércio no bloco econômico dos BRICs, qual a importância da China neste processo e onde o Brasil se encaixa nesta situação.

2.1. AUTORES SOBRE O TEMA

Casaca (2005) apresenta uma estrutura portuária abrangente e descreve os subsistemas navio-porto, pátio e os portões de acesso rodoviário e ferroviário. Sua análise se direciona à movimentação de contêineres, utilizando uma modelagem complexa composta por ferramentas de simulação, algoritmos genéticos e programação não linear.

Parola e Sciomachen (2005), através de um modelo de simulação discreta, analisam o tráfego marítimo, através da infraestrutura nos sistemas ferroviário e rodoviário.

León et al. (2021), através de uma simulação proativa de otimização que utilizam as informações coletadas durante a simulação para orientar a busca da otimização para fornecer soluções ao proposto, investigando a contribuição das

estratégias de gerenciamento de tempo, como buffers para aumentar a robustez das soluções.

Dragovic et al. (2005) e Asperen et al. (2003) apresentam diversos modelos de simulação para o estudo de impacto ao se atribuir prioridades para os tipos de navios. Tal atribuição, no caso de navios menores, faz com que estes entrem na fila, afetando o tempo médio de cada embarcação. Casaca (2005) corrobora, em seu trabalho, de forma detalhada, as normas de prioridades de fila e alocação no ancoradouro.

Segundo Hijjar (2004), os problemas logísticos refletem em perda de eficiência do país e essa perda pode ser medida em termos de custos reais para as empresas. Um exemplo de aumento de custos causados por ineficiência nos portos foi calculado pela multinacional Bunge e apresentada ao governo, as previsões realizadas indicam que as empresas que escoam grãos para o mercado internacional pagaram em 2004 US\$ 1,2 bilhões de multa por espera de navios nos portos brasileiros. Este custo de sobre-estadia, chamado de “*demurrage*” é pago pelas empresas quando há atrasos no embarque ou desembarque nos portos. A estimativa considerou que, no Brasil, os navios esperam em média 22 dias e que cerca de 1000 navios tipo Panamax, com capacidade de 50 mil toneladas são utilizados para escoar a safra anual de grãos de soja.

Segundo Cotterell (2016) todos os projetos envolvem riscos, porém é de extrema importância entender o que são estes riscos e como eles podem afetar o seu orçamento e cronograma. Desta forma, o @RISK constitui-se de uma ferramenta de software bem estabelecida que foi projetado para ajudar nestas análises.

Segundo Ávila (2015), a metodologia de Monte Carlo possui um passo a passo para execução, definidos em:

1º passo: Atribuição de algoritmos, para realização da análise dos cenários desejados e avaliar as probabilidades de sucesso ou fracasso;

2º passo: Reconhecimento do cenário a ser utilizado e modelagem do problema;

3º passo: Gerar valores aleatórios para as incertezas que cercam o projeto desejado;

4º passo: Substituem-se as incertezas aplicadas pelos valores atribuídos com o objetivo de calcular os resultados;

5º passo: Obter uma estimativa para a solução do problema baseado na análise dos tópicos anteriores.

Com isto, Soares (2017) reitera que:

“Nos últimos anos, engenheiros e arquitetos navais apresentaram ao mundo os maiores e mais potentes navios já construídos. Embarcações de granel sólido de 400.000 TPB com seus 23 metros de calado, os chamados “CHINAMAX” tornaram-se uma realidade em portos nacionais, europeus e asiáticos. No que tange o transporte de carga em contêineres, os navios “Post-Panamax” e “New-Panamax”, com respectivamente 8500 TEU2s e 12500 TEUs também se tornaram uma realidade nos principais “hubs” portos mundiais.” (SOARES, 2017).

Segundo Flor (2012), “A utilização de Simulação de Monte Carlo em análise de risco financeiro de projetos da Indústria Naval pode ser uma ferramenta útil para gerar valor agregado nas projeções nos projetos de investimento do setor, dando maior conforto e segurança”.

De acordo com Alyami *et al.* (2014):

“a análise de risco nos portos marítimos desempenha um papel cada vez mais importante para garantir a confiabilidade da operação portuária, a segurança do transporte marítimo, e a resiliência da distribuição da cadeia de suprimentos. No entanto, a tarefa não é clara diante dos desafios, incluindo a segurança do porto no qual é afetada por vários fatores relacionados ao projeto, instalação, operação, manutenção os métodos tradicionais de avaliação de risco, como a análise quantitativa de riscos, não conseguem lidar suficientemente com a incerteza nos dados com falha”. (ALYAMI et al., 2014).

Santos e Santos (2012) sobre o Porto de Santos afirmam que houveram problemas relacionados a falta de espaço para a armazenagem e para o escoamento das cargas, além de que a profundidade do calado não era suficiente para aguentar navios de maior porte. Outro problema encontrado acontece devido aos equipamentos que eram defasados demais para movimentar as mercadorias.

O relatório Brazil Soybean Transportation, publicado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (SALIN, 2021) em parceria com a Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG/USP):

“o custo do transporte marítimo para exportar a soja brasileira para a China, com base na média dos fretes de 2020 para navios Panamax, carregando aproximadamente 66 mil toneladas de soja, e considerando-se Xangai como o porto de chegada, é de: cerca de 31,40 US\$/tonelada considerando-se Santos como o porto de partida; 34,96 US\$/tonelada considerando-se o embarque nos TUPs de

Barcarena; e 34,02 US\$/tonelada com o embarque no Porto do Itaquí” (SALIN, 2021).

Nota-se que a exportações pelo Arco Norte nos últimos anos está relacionada à melhoria de condições para o escoamento da carga pelos terminais de transbordo e terminais marítimos da região – principalmente da produção ao norte do estado do Mato Grosso e região Norte como um todo, tendo em vista a expansão da fronteira agrícola em conjunto com a mudança de certas lavouras.

Segundo Gabriel Filho *et al.* (2010):

“No Brasil o transporte hidroviário é pouco utilizado para a movimentação de produtos, no mercado interno, se destacando somente para escoamento de mercadorias para os mercados externos. A modalidade de transporte hidroviário é indicada para movimentação de cargas a granel, além de possuir a capacidade de se movimentar grandes quantidades. O Brasil possui uma grande quantidade de portos e terminais, mais somente alguns são utilizados durante o ano (...)”. (GABRIEL FILHO ET AL, 2010).

Segundo Kakimoto e Seneviratne (2000), “O risco de retorno é uma consideração importante para desenvolvedores e financiadores de infraestrutura portuária”.

Kakimoto e Seneviratne (2000), mencionam que a mudança constante da indústria naval, a movimentação de cargas, mercados mundiais e a concorrência entre portos estão tornando incertas as estimativas de receita, com isso utilizam da simulação de Monte Carlo para examinar fontes de incertezas e seus impactos.

Segundo David Vose (1997):

“A análise quantitativa de riscos desempenha um papel importante na avaliação dos riscos e incertezas em torno de um problema de decisão. A simulação de Monte Carlo é uma maneira muito poderosa e flexível de realizar essas análises quantitativas de risco. No qual permite o analista atribuir distribuições de probabilidades a todos os componentes incertos de um modelo matemático do problema, e por meios de amostragens aleatórias dessas distribuições, determina-se a distribuição de todos os possíveis resultados que possam ocorrer sob essas incertezas.” (DAVID VOSE, 1997, p.76).

De acordo com Goerlandt e Montewka (2015):

“Muitos métodos e aplicações para análise de risco de transporte marítimo foram apresentados na literatura. Paralelamente, há um foco recente em questões fundamentais na análise de risco, com apelos a pesquisa intensificada sobre conceitos e princípios fundamentais subjacentes ao campo científico”. (GOERLANDT E MONTEWKA, 2015, p.115).

Para Hacura, Jadamus-Hacura e Kocot (2001):

“Na avaliação determinística, a regra básica de decisão para um projeto é simplesmente aceitar ou rejeitar o projeto, dependendo de seu valor presente líquido (VPL) é positivo ou negativo, respectivamente. Da mesma forma, ao escolher entre projetos alternativos (mutualmente exclusivos), a regra de decisão é aquela com maior VPL, desde que positivo. Reconhecendo o fato de que as principais variáveis do projeto (como volume de venda, preços de venda, custos) não são certas, um relatório de avaliação geralmente é contemplado para incluir testes de sensibilidade e análise de cenário”. (HACURA, JADAMUS-HACURA E KOCOT, 2001).

2.2. O CRESCIMENTO DOS BRICS E SEUS EFEITOS PARA O BRASIL

Um grupo de países que vem crescendo de forma mais intensa são os países que formam os BRICs (bloco econômico), constituído por: Brasil, Rússia, Índia e China. É importante destacar que esse crescimento acentuado de todos os países do grupo, ocorre com o aproveitamento dos mais diferentes tipos de produtos. Segundo estudo realizado pelo IPEA em 2010 a caracterização da exportação desses países se dá da seguinte forma:

“O Brasil se destacou, essencialmente, em bens primários agropecuários e bens intensivos em recursos naturais. No primeiro, os produtos à base de óleo de semente, tabaco, ração animal e carne foram destaque. No segundo, o minério de ferro, o açúcar e os sucos/frutas foram notáveis. Os demais produtos da tabela (lingotes e ferro gusa) são considerados produtos intensivos em escala, pois requerem grandes aportes de investimentos capazes de subsidiar os enormes custos fixos da empresa entrante.

A China apresentou grandes vantagens em produtos intensivos em trabalho. Como destaque, é possível citar os artigos têxteis, de vestuário e bagagens. Ao contrário do Brasil, existe um único bem primário agropecuário (seda) entre os dez maiores IVCR. Já o coque (produto derivado de carvão) é o único produto do ranking classificado como um bem intensivo em recursos naturais. Por último, é importante notar a presença de um produto considerado intensivo em tecnologia (instrumento óticos) dentre os produtos em que a China possui elevado IVCR1.

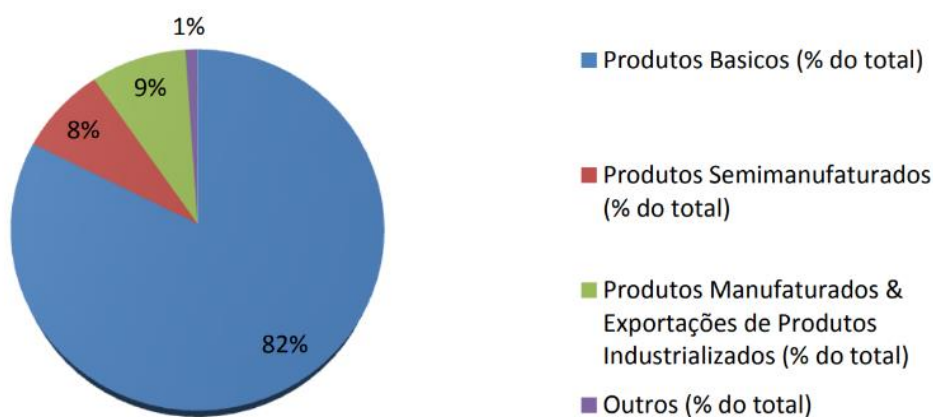
A Índia, por sua vez, apresentou razoável concentração em itens considerados de menor sofisticação tecnológica (três primários agropecuários e um primário mineral). Certamente, arroz, chá e especiarias indianas são produtos tradicionais e com grande produção local. Existem ainda, entre os 10 maiores IVCR, dois produtos classificados como intensivos em recursos naturais – destaque para o minério de ferro, em cuja produção a Índia também tem se destacado. Artigos têxteis (intensivos em mão de obra) e artigos de joalheria (pedras preciosas e pérolas, ouro e jóias) completam a lista. No caso da Rússia, chama a atenção a elevada competitividade em diversos produtos primários minerais. Observa-se um IVCR elevado em níquel, gás natural, enxofre e petróleo. Produtos intensivos em escala como ferro gusa, lingotes e fertilizantes e intensivos em recursos naturais completam o ranking.” (IPEA,2010).

Este grupo de países, também conhecido como países emergentes, vêm apresentando um crescimento muito expressivo no cenário geopolítico mundial o que traz consigo uma inevitável presença, cada vez mais expressiva no comércio global.

O crescimento das exportações brasileiras é, em sua grande parte, explicado pelo crescimento chinês. Isso ocorreu, pois, o crescimento chinês teve como uma de suas principais bases o investimento em infraestrutura. Segundo estudo feito pelo FMI, o investimento em infraestrutura contribuiu por mais da metade do crescimento chinês nos anos 2000.

O estudo do FMI prossegue esclarecendo sobre a importância da China para o crescimento dos países que são seus parceiros comerciais, principalmente os exportadores de commodities, como é o caso do Brasil.

A partir disto e segundo a realidade brasileira, é possível se dividir as exportações em três grupos principais: Produtos básicos, Produtos semimanufaturados e Produtos manufaturados e industrializados. O gráfico 1 mostra a abertura desses dados.

Gráfico 1 – Abertura da Exportação Brasileira.

Fonte: MACRODADO (2018).

Torna-se notório que os produtos básicos são predominantes na cesta de exportações brasileiras. De fato, sabe-se que apenas seis produtos são responsáveis por mais da metade das exportações brasileiras. Dentro do grupo de produtos básicos observam-se o minério de ferro e os grãos agrícolas (soja e milho) como os principais produtos de exportação.

3. METODOLOGIA

Para obtenção de resultados e respostas acerca da problematização encontrada neste trabalho, foi utilizado o método de pesquisa aplicada, de abordagem quantitativa, com o intuito de analisar e compreender o que acontece com os terminais portuários paraenses. Para isto, fez-se a utilização de uma revisão bibliográfica composta pelos principais autores desta área, a partir de fontes primárias e secundárias (dissertações, artigos, livros, entre outros). Com o intuito de buscar melhorias nos portos paraenses, que têm grande potencial logístico, com o conhecimento acerca do avanço rápido da tecnologia naval e do surgimento de navios capazes de transportar cada vez mais carga e de demandas crescentes.

A pesquisa foi baseada em estudos de autores nacionais e internacionais como por exemplo Hans Adler, Leonardo Sousa Soares, Ryuji Kakimoto e Prianka Seneviratne, Hani Alyami, entre outros pensadores que de alguma forma puderam contribuir com trabalhos pertinentes sobre o assunto.

Sendo assim, com base nos dados obtidos com o estudo bibliográfico inicial, um modelo para análise foi desenvolvido a partir da teoria de filas e dados coletados através da pesquisa dos empreendimentos portuários ligados ao transporte de grãos provenientes da bacia amazônica com destino as exportações de longo curso. Os dados que subsidiaram a análise tiveram como fonte de informação os anuários estatísticos da ANTAQ, onde é possível a obtenção dos dados de movimentação de carga da região e indicadores operacionais dos terminais de interesse da pesquisa.

Os dados obtidos possibilitaram o estabelecimento de parâmetros operacionais que alimentam o sistema proposto, assim identificando os *outputs* e *inputs* para que se seja elaborado o modelo de análise a ser implementado em programas específicos de otimização e de análise de riscos e incertezas, utilizando-se do método de Monte Carlo computadorizado para executar as análises.

A teoria de filas foi aplicada para avaliar o congestionamento e a formação de filas dos clientes à espera de atendimento (ANDRADE, 2009). Nesse contexto, a teoria de filas é eficaz para eliminar gargalos, gerando dados para tomar decisões adequadas, bem como proporciona um melhor aproveitamento, como no caso desta pesquisa, na movimentação de navios e seus intervalos de tempos entre chegadas e saídas. Sendo assim, com a aplicação da teoria das filas em conjunto com a simulação computacional, neste caso, é possível estudar a operação de movimentação de

navios. Permitindo, além de conhecer as características atuais de operação, também visualizar como o sistema reage mediante alterações na demanda, infraestrutura e operação.

A otimização dos resultados foi feita pelo RISKOptimizer, sendo uma extensão do @RISK, capaz de fornecer a melhor combinação de valores para maximizar ou minimizar o resultado do modelo. Tendo em vista que, neste caso de otimização do modelo, a extensão não está preparada para incertezas não controladas, logo, foram utilizados valores estáticos, quando necessário. Considerando as variáveis de movimentação de carga e produtividade do navio, foram otimizadas de forma que se encontre um valor adequado para as duas, tendo o conhecimento que a maximização de uma resulta na minimização de outra.

Para a resolução da proposta da dissertação, buscou-se a construção de um modelo de otimização que passou pelas seguintes etapas:

- I. Conhecimento da Questão (foco principal e secundários, dados obteníveis, restrições do projeto, etc.)
- II. Modelagem Conceitual (o que será programado: atividades do processo estudado a representar, recursos que utilizam e dados sobre as atividades e recursos)
- III. Análise de Dados (parâmetros das distribuições de probabilidades) Vale observar que dados existentes sempre se referem a uma situação específica.
- IV. Análise de confiabilidade do sistema, isto é, das falhas dado que estas alteram a produtividades dos sistemas e subsistemas com a aplicação em casos reais de terminais localizados no arco amazônico com cargas oriundas da bacia Amazônica.
- V. A etapa da modelagem foi encarada como um processo iterativo, começando-se com um modelo tão simples quanto possível, verificando se este atende aos objetivos. A partir desta análise aumentou-se a complexidade do modelo conforme necessário.
- VI. A etapa de validação trata a questão de se o modelo responde (ou não) de forma adequada aos inputs e se este alcança os resultados esperados.
- VII. Calibração Ajuste dos parâmetros das distribuições para se obter determinados resultados (indicadores) para os quais se tem referência de valor.

VIII. Resultados referenciais foram obtidos segundo a análise de aplicação do modelo em casos reais ou referencial.

O processo de validação do modelo proposto tem uma solução analítica e simples, uma vez que o modelo corresponde a um processo de chegada regido por uma distribuição de Poisson, uma única estação de serviço (berço), com tempo de atendimento regido por uma distribuição exponencial e unidades atendidas na ordem de chegada, não havendo desistências, tem-se a formação de uma fila designada por M/M/1, cujos resultados são conhecidos analiticamente. Os resultados da otimização podem ser então comparados com os teóricos, assim como a validade do modelo pode ser confirmada. Uma vez validada esta estrutura pode ser utilizada para configurações semelhantes, por exemplo, mudando-se as distribuições de chegada e de atendimento. É importante salientar que esta forma de validação só pode ser aplicada em situações muito simples, como os aplicados nos estudos de casos.

Os métodos tradicionais de otimização não levam em conta as incertezas, o que é uma abordagem muito arriscada. Deste modo, esta dissertação buscou uma otimização que incluísse esta probabilidade em sua abordagem através de um software que utiliza o método de Monte Carlo para avaliar as incertezas das análises. O RISKOptimizer informa não só qual é a melhor combinação de inputs a ser utilizada, como também o risco associado a cada estratégia. Você pode procurar estratégias que possibilitem minimizar os seus riscos e, ao mesmo tempo, alcançar as suas metas.

O RISKOptimizer reúne a tecnologia de simulação Monte Carlo do software @RISK e a mais avançada tecnologia de solução, possibilitando otimizar modelos de planilha do Excel que contêm valores incertos. Em qualquer problema de otimização, os valores incertos podem ser substituídos pelas funções de distribuição de probabilidade do @RISK correspondentes a uma faixa de valores possíveis. Em cada solução testada pelo RISKOptimizer durante a otimização é executada uma simulação Monte Carlo, afim de encontrar a combinação de células ajustáveis que fornece os melhores resultados de simulação.

A proposta metodológica desta dissertação busca otimização preparada para lidar com incerteza "não controlada", necessitando de valores estáticos para qualquer fator que não esteja sendo ajustado pela otimização. Esta condição busca fugir da

tomada de decisões baseadas em modelos altamente simplistas ou resultados imprecisos, com são os modelos de otimização tradicionais.

Durante uma otimização, o RISKOptimizer gera várias soluções-teste e usa algoritmos genéticos para melhorar continuamente os resultados de cada tentativa. Uma simulação de Monte Carlo é rodada para cada solução-teste, adquirindo amostras de funções de distribuição de probabilidade e gerando um novo valor para a célula-alvo – repetidamente. O resultado de cada solução-teste é a estatística que se busca minimizar ou maximizar para a distribuição de output da célula-alvo (média, desvio padrão etc.). Para cada nova solução-teste é executada outra simulação e é gerado outro valor para a estatística-alvo.

3.1. ANÁLISE DE RISCOS E INCERTEZAS

Nessa etapa, os riscos são identificados, analisados e avaliados de acordo com critérios previamente estabelecidos, sendo realizada em três fases: identificação, análise e avaliação dos riscos.

Na identificação dos riscos, as atividades são direcionadas com o intuito de identificar os principais riscos que afetam o atendimento da movimentação de carga na bacia amazônica, o seu resultado é materializado em uma relação que contém os possíveis riscos ou cenários de riscos. Esta etapa tem como objetivo desenvolver uma compreensão destes cenários, suas fontes e quaisquer eventos que possam vir a comprometer as atividades portuárias.

Durante a análise ocorre o desenvolvimento de um entendimento sobre os riscos e os seus impactos nas atividades envolvidas, buscando orientar quais as melhores estratégias para tratamento dos riscos dentro da relação custo-benefício. É nesta fase que ocorre o estudo detalhado de cada risco e a sua interrelação com os controles e suas vulnerabilidades, o que pode ser chamado de estudo do risco propriamente dito.

Para alcançar os objetivos propostos nesta dissertação utiliza-se da metodologia de Monte Carlo, objetivando identificar vários resultados possíveis e informar a probabilidade de ocorrência destes. Esta simulação consiste em uma técnica matemática computadorizada que possibilita levar em conta o risco em análises quantitativas e tomadas de decisão. A metodologia de Monte Carlo fornece ao tomador de decisão uma gama de resultados possíveis e as probabilidades de

ocorrências desses resultados de acordo com a ação escolhida. Identificando as possibilidades e os resultados das decisões mais ousadas e das mais conservadoras e todas as possíveis consequências das mais moderadas.

Para operacionalizar as análises de maneira mais simples e rápida optou-se pelo software **@RISK** que executa análises de risco por meio do método de Monte Carlo de forma a mostrar vários resultados possíveis no modelo de planilha e informar a probabilidade de ocorrência dos mesmos. O programa efetua cálculos matemáticos que permitem rastrear uma diversidade de possíveis cenários futuros, em seguida, informa as probabilidades e riscos associados a cada cenário. Isso significa que há, então, condições de avaliar que riscos se deseja tomar ou evitar, e com base nisso, tomar as melhores decisões possíveis em situações de incerteza.

O **@RISK** também ajuda a planejar as melhores estratégias de gerenciamento de risco através da integração com o **RISKOptimizer**, que reúne a capacidade da metodologia de Monte Carlo e a mais alta tecnologia de "solucionadores" ou solvers. O programa permite fazer análises de sensibilidade do problema gerado, através da definição dos inputs e outputs. Após a criação de um modelo de risco, é possível gerar gráficos de distribuição e de tornado, onde são mostrados os principais valores que influenciam no projeto analisado e a distribuição que será utilizada para este trabalho. Os dados variáveis serão aplicados com uma distribuição triangular, utilizado para estimativa aproximada de três pontos, frequentemente usado em gerenciamento de projetos e análise de custos. Trata-se de uma distribuição de probabilidade contínua que possui um valor mínimo, um valor máximo e moda, sendo esta distribuição ideal para ser aplicada neste trabalho, visto que nele haverá variáveis com dados mínimos e máximos junto com a moda.

A proposta metodológica desta dissertação busca mesclar os critérios de decisão por produtividade anual do navio utilizando o método de Monte Carlo como forma para obter as otimizações necessárias ao modelo, realizada através do software **@Risk**, considerando o porto como o conjunto de meios estratégicos e operacionais que otimizam as funções intermodais na cadeia logística.

3.2. MÉTODO DE MONTE CARLO (MMC)

A Simulação de Monte Carlo (SMC) é um método de simulação estatística que pode ser definida como uma metodologia que utiliza uma sequência de números randômicos para gerar uma simulação (SOUZA, 2004).

O primeiro a ilustrar a aplicabilidade da simulação de Monte Carlo foi o autor David Hertz, em seu artigo *Risk Analysis in Capital Investment*, publicado em 1964. O artigo surgiu com a utilização da simulação na análise de projetos, como forma de mensurar os riscos inerentes a cada variável.

Nos dias atuais, o MMC é bastante utilizado para realizar análise de mercado para possíveis investimentos, devido a sua capacidade de revelar os possíveis riscos e incertezas presentes no investimento (HERNANDEZ, 2012). Existem softwares de análise de risco baseado no MMC, a exemplo temos o @RISK.

Segundo Ávila (2015), a metodologia de Monte Carlo possui um passo a passo para execução, definidos em:

1° passo: Atribuição de algoritmos, para realização da análise dos cenários desejados e avaliar as probabilidades de sucesso ou fracasso;

2° passo: Reconhecimento do cenário a ser utilizado e modelagem do problema;

3° passo: Gerar valores aleatórios para as incertezas que cercam o projeto desejado;

4° passo: Substituem-se as incertezas aplicadas pelos valores atribuídos com o objetivo de calcular os resultados; e

5° passo: Obter uma estimativa para a solução do problema baseado na análise dos tópicos anteriores.

3.3. @RISK PARA A ANÁLISE DE RISCO

Segundo Cotterell (2016, p. 30) “Todos os projetos envolvem riscos, mas é vital entender o que esses riscos são e como eles podem afetar seu orçamento e cronograma. O @RISK é uma ferramenta de software bem estabelecida que foi projetado para ajudá-lo a fazer isso”.

O software escolhido @RISK é considerado um complemento do Microsoft Excel que permite a análise de risco pelo método de Monte Carlo. O programa pode ser utilizado para analisar diversos riscos, identificando virtualmente todos os resultados possíveis para qualquer situação e indicando a probabilidade de um evento específico ocorrer, assim pode-se fazer a análise sobre quais riscos evitar. Esta ferramenta de análise torna tudo mais fácil na hora de executar um projeto específico, pois, se trata de uma ferramenta fácil de aprender e apresenta uma grande variedade de distribuições para serem utilizadas, ainda possui dentro do software a explicação específica da distribuição, sanando dúvidas sobre a utilização de cada uma, tornando-se, assim, uma grande ferramenta para estudo. Este programa é utilizado por grandes empresas como Boeing, Petrobras, Disney, AT&T, NASA, Toyota entre outros (PALISADE, 2019). Nota-se que empresas que utilizam esta ferramenta são de ramos totalmente diferentes, o que torna nítido a grande diversidade de análises de riscos que podem ser realizadas com o @RISK.

@RISK simula através do método de Monte Carlo a análise de diversos tipos de riscos existentes e a probabilidade de ocorrência. Essas simulações são feitas através de uma técnica matemática computadorizada que se baseia em amostragens aleatórias capazes de calcular a probabilidade dos eventos. Com o resultado numérico dessas simulações é possível identificar os principais riscos de projeto e ajudar na tomada de decisão. O programa nos permite fazer análises de sensibilidade do problema gerado, através da definição dos inputs e outputs (custos fixos e variáveis). Após a criação de um modelo de risco, é capaz de gerar gráficos de distribuição e de tornado, onde são expostos os principais valores que influenciam no projeto analisado. O @Risk oferece várias opções de distribuições estatísticas a serem aplicadas e diversos tipos de análises, para este trabalho foi escolhida a distribuição triangular, visto que, no trabalho serão utilizados valores mínimos e máximos das variáveis (Apêndice A).

4. DEMANDAS ATUAL E FUTURA DE SOJA E MILHO

Segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), a exportação brasileira de soja e milho, saindo do Arco Amazônico pela navegação de longo curso, alcançou 34,4 milhões de toneladas em 2020, já em 2019 esse número foi de 32,7 milhões de toneladas. Em relação à exportação de soja e milho, também pelo Arco Amazônico na navegação de longo curso, os portos públicos contribuíram com 18,8 milhões de toneladas, enquanto que os portos privados obtiveram uma contribuição de 15,6 milhões de toneladas. Analisando as instalações portuárias, observa-se que saíram pelo Porto do Itaqui (MA) 12 milhões de toneladas de soja e milho no ano passado, ao passo que Santarém contribuiu com 6,5 milhões de toneladas, já o Terminal de Vila do Conde apareceu em terceiro com 5,7 milhões de toneladas. Apenas a Bacia Amazônica contribui com 30% do que o Brasil exporta de soja e milho, saindo pela navegação de longo curso (ANTAQ, 2021).

Em relação à soja e ao milho, de acordo com os dados da ANTAQ, nota-se que as instalações portuárias do Arco Amazônico movimentaram 72 milhões de toneladas em 2020, sendo 45 milhões de toneladas movimentadas pelos portos privados e 27 milhões de toneladas movimentadas pelos portos públicos. Os destaques ficam para o Porto de Santarém (PA), que movimentou 13 milhões de toneladas, o Porto do Itaqui (MA), com 12 milhões de toneladas e o complexo portuário de Vila do Conde (PA), com 10,7 milhões de toneladas.

Sobre fertilizante no Arco Amazônico, o destaque foi o Porto do Itaqui, movimentando 2,6 milhões de toneladas em 2020. Já a movimentação de contêineres na Bacia Amazônica ficou assim: 7,4 milhões de toneladas nos portos privados e 1,5 milhão de toneladas nos portos públicos. O Terminal Marítimo de Ponta da Madeira (MA) foi a instalação portuária que mais movimentou no período analisado, com um total de 28,3 milhões de toneladas, aumento de 3,35%.

O Arco Amazônico, contempla os complexos portuários de Porto Velho (RO), Manaus/Itacoatiara (AM), Santarém (PA), Itaituba/Miritituba (PA), Belém/Vila do Conde (PA), Santana (AP) e Itaqui (MA) (Figura 1). Considerando as projeções apresentadas nas Tabelas 1 e 2, tem-se que, para o ano de 2030, as quantidades estimadas são:

- Milho (limite superior) = 64.104.000 t/ano

- Soja (limite superior) = 134.391.000 t/ano
- Total de grãos para 2030 = 198.495.000 t/ano

Figura 1 – Portos do Arco Amazônico.



Fonte: ANTAQ (2021).

Considerando-se que a Bacia Amazônica participa com 30% das exportações brasileiras, tem-se que os portos da bacia teriam que movimentar até 2030 um total de aproximadamente 59.548.500 toneladas de grãos (aproximadamente 60 milhões).

Tabela 1 – Produção, Consumo e exportação de milho (mil toneladas).

	Produção		Consumo		Exportação	
	Projeção	Lsup.	Projeção	Lsup.	Projeção	Lsup.
2019/20	102.337	-	68.523	-	34.500	-
2020/21	100.841	118.257	71.179	73.060	32.944	48.503
2021/22	103.412	122.101	73.135	76.660	34.231	50.287
2022/23	105.984	125.864	75.056	80.213	35.518	52.055
2023/24	108.556	129.560	76.666	83.332	36.805	53.809
2024/25	111.128	133.198	78.275	86.347	38.093	55.552
2025/26	113.699	136.788	79.745	89.107	39.380	57.282
2026/27	116.271	140.334	81.221	91.779	40.667	59.002
2027/28	118.843	143.842	82.635	94.299	41.954	60.712
2028/29	121.415	147.317	84.054	96.751	43.241	62.412
2029/30	123.986	150.761	85.446	99.109	44.529	64.104

Fonte: Elaboração da CGAPI/DCI/SPA/MAPA, SIRE/Embrapa e Departamento de Estatística/UNB com dados da CONAB.

* Modelos utilizados: Para produção e exportação modelo Arma, para consumo modelo Espaço de estados.

Fonte: CONAB (2018).

Tabela 2 – Produção, Consumo e exportação de soja em grão (mil toneladas).

	Produção		Consumo		Exportação	
	Projeção	Lsup.	Projeção	Lsup.	Projeção	Lsup.
2019/20	120.330	-	44.250	-	84.000	-
2020/21	123.367	134.382	45.242	49.268	78.813	88.610
2021/22	127.259	140.788	46.447	51.133	81.545	95.401
2022/23	130.835	147.307	47.235	52.086	84.278	101.248
2023/24	134.531	153.320	48.096	53.529	87.011	106.606
2024/25	138.183	159.131	49.114	55.085	89.744	111.652
2025/26	141.851	164.739	50.036	56.311	92.477	116.475
2026/27	145.514	170.201	50.926	57.556	95.210	121.131
2027/28	149.179	175.541	51.873	58.889	97.943	125.654
2028/29	152.843	180.782	52.810	60.146	100.676	130.068
2029/30	156.507	185.939	53.727	61.367	103.409	134.391

Fonte: Elaboração da CGAPI/DCI/SPA/MAPA, SIRE/Embrapa e Departamento de Estatística/UNB com dados da CONAB.

* Modelos utilizados: Para produção modelo Espaço de estados, para consumo modelo Arma e para exportação modelo PA.

Fonte: CONAB (2018).

5. CARACTERÍSTICAS DOS TERMINAIS EXPORTADORES DE GRÃOS DA BACIA AMAZÔNICA

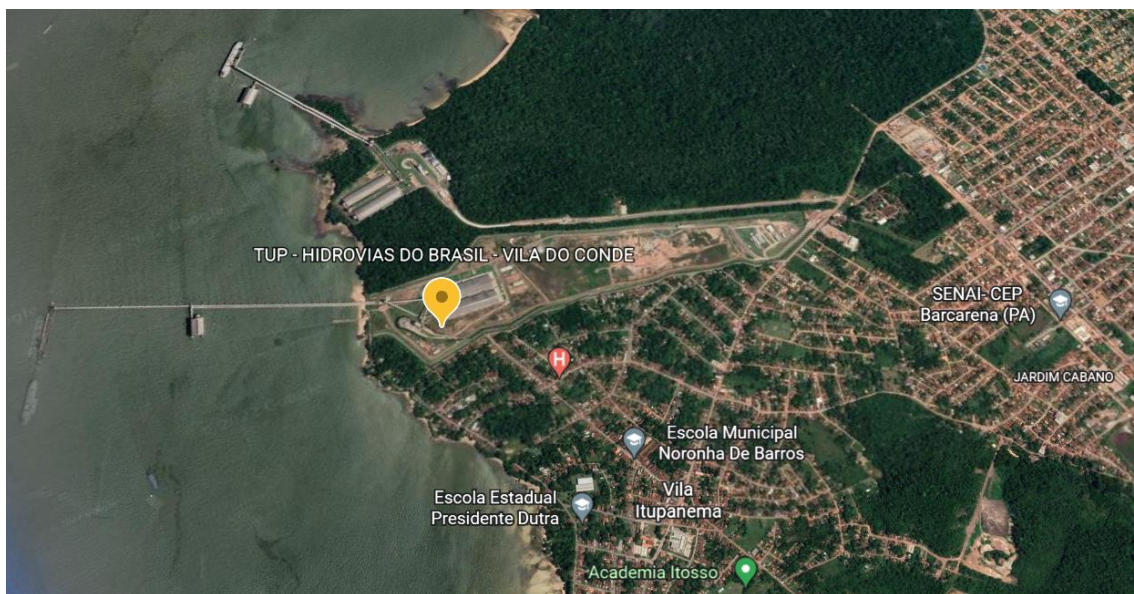
Neste capítulo serão realizadas breves descrições dos terminais portuários que fazem exportação em navios de longo curso e que recebem granéis agrícolas oriundos da bacia amazônica e bacia dos rios Tocantins e Capim.

Atualmente, no Arco Amazônico existem oito terminais de exportação de grãos com cargas procedentes da bacia amazônica e bacia dos rios Tocantins e Guamá/Capim, dentre eles se pode citar: o Terminal da Hidrovias do Brasil, Terminal da Unitapajós, Terminal TGPM e Terminal flutuante da empresa Mega Logística/Louis Dreyfus, todos no complexo portuário de Vila do Conde, além do terminal de exportação de grãos da empresa Cargill e Terminal da CDP, cuja operação é realizada pela empresa Mega Logística em Santarém, terminal da CIANPORT no porto de Santana no Amapá e Terminal da Hermasa em Itacoatiara.

5.1. TERMINAL DA HIDROVIAS DO BRASIL – HBSA

A infraestrutura do Terminal da Hidrovias do Brasil (Figura 2) sobre o rio Pará é formada por pier com um berço para a atracação de navio e um berço para a atracação de barcaças. O pier para navios está localizado a aproximadamente um quilômetro da costa, este pier possui um berço que permite a atracação de apenas um navio de porte médio (60.000t de capacidade de carga) e três berços para comboios de barcaças, sendo dois para descarregamento de grãos e um para carregamento de fertilizantes. O berço de navios permite a movimentação de um carregador de navio e sistema de correias transportadoras e equipamentos com capacidade nominal de expedição de 2500t/h (Figura 3).

Figura 2 – Localização do Terminal da Hidrovias do Brasil.



Fonte: Google Earth, adaptado (2022).

Figura 3 – Terminal da Hidrovias do Brasil.

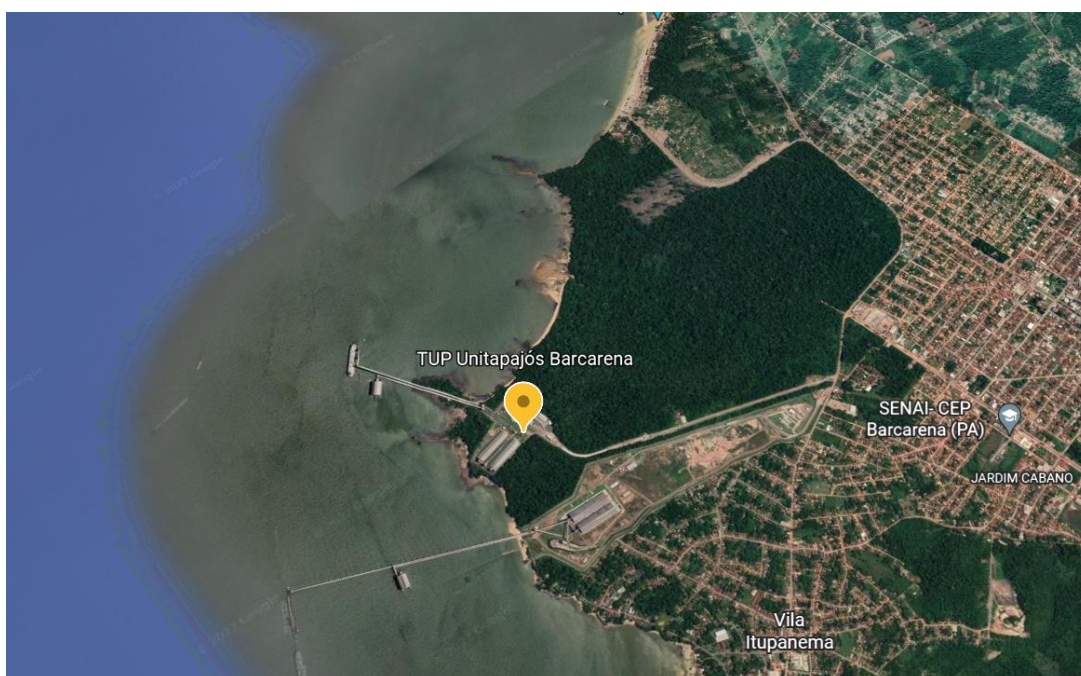


Fonte: HBSA – Hidrovias do Brasil S.A. (2021).

5.2. TERMINAL DA UNITAPAJÓS

O Terminal da Unitapajós (Figura 4) funciona em dois sentidos, tanto para exportação quanto para importação. Para exportação são movimentadas a soja e seus derivados a granel, que são embarcados em navios de longo curso. Para o recebimento de soja são usados comboios de barcaças e caminhões. Como premissa básica, os berços têm no mínimo 16 metros de profundidade para os navios de longo curso e 5 metros para o comboio de barcaças.

Figura 4 – Localização do Terminal da Unitapajós.



Fonte: Google Earth, adaptado (2022).

Os berços são paralelos às margens, na direção predominante das correntes do rio Pará, sendo ligados à terra por um sistema de transportadores de correias tubulares específicos para cada fim (Figura 5). Foram adotadas as seguintes capacidades para os diversos sistemas de movimentação dos produtos:

Produto Produção nominal Soja.

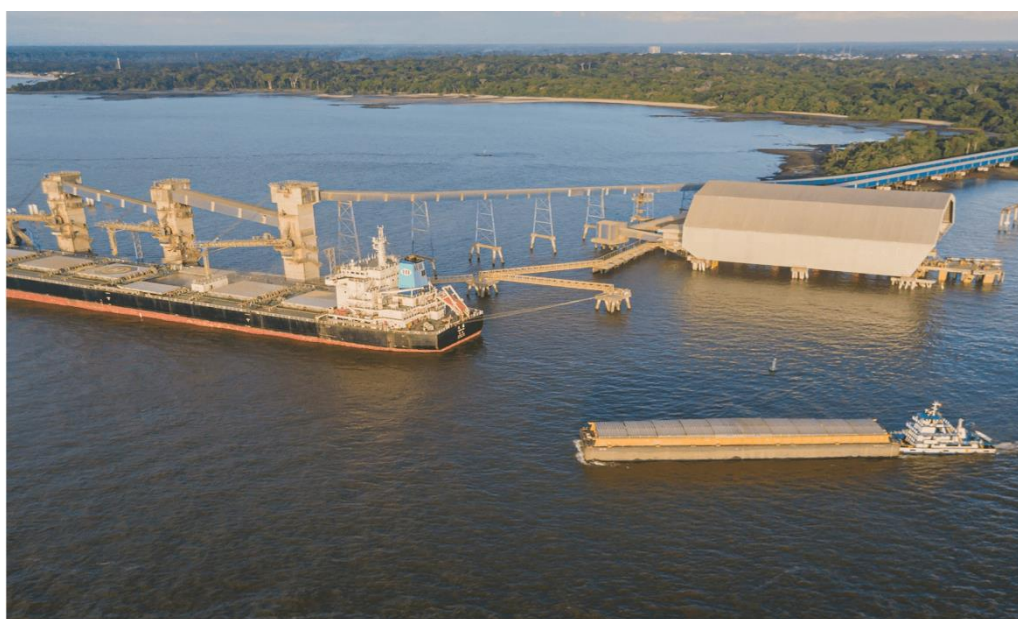
- Exportação 4.000 t/h.
- Importação 2.000 t/h.

Para o circuito de exportação de soja são utilizadas torres de carregamento de navios, composto basicamente de duas linhas de transportadores de correia tubular (pipe conveyor), que conectam a retro área às torres de carregamento de navios, cada uma com capacidade de 2.000 t/h. O circuito inicia-se nas balanças de fluxo (pesagem por batelada) localizadas sobre o trecho de carregamento dos dois transportadores instalados na retro área.

O circuito de importação de soja compõe-se de uma linha de transportadores de correia interligando o píer de descarregamento de barcaças de soja à retro área, com capacidade nominal de 2.000 t/h.

O píer tem capacidade para a atracação de duas barcaças, após descarregar uma barcaça completamente, o descarregador se dirige à outra barcaça atracada ao lado da primeira. Enquanto descarrega a segunda, a primeira barcaça vazia será substituída por outra cheia, otimizando assim os tempos de operação.

Figura 5 – Terminal da Unitapajós.



Fonte: unitapajos.com.br, acesso em 12/08/2021.

5.3. TERMINAL DE GRÃOS PONTA DE MONTANHA – TGPM

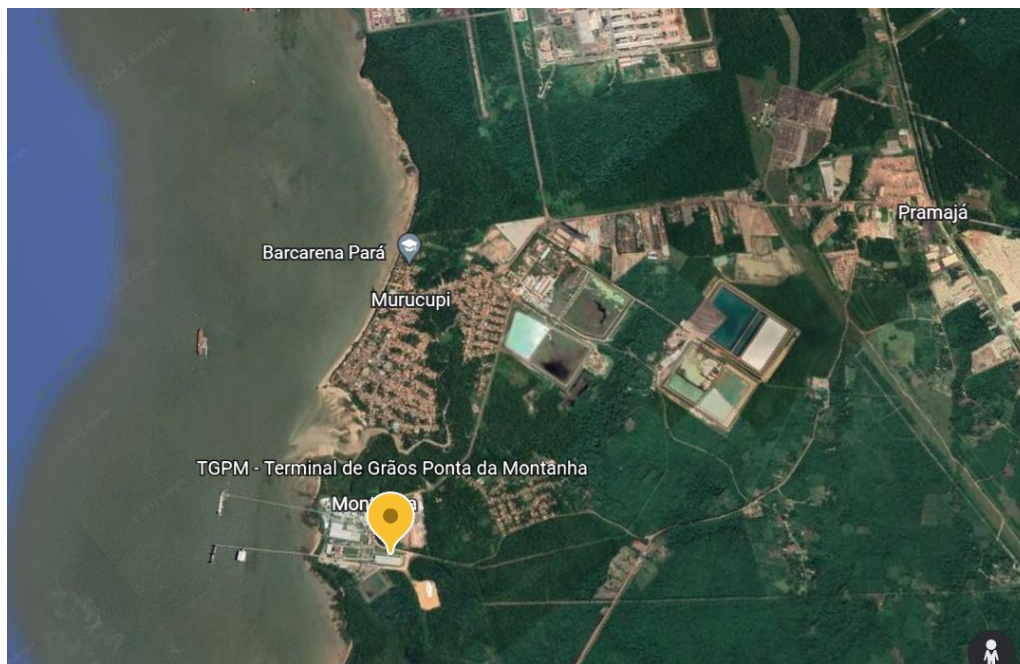
O Terminal de Grãos Ponta da Montanha (Figuras 6 e 7) é autorizado e presta serviços de recebimento, armazenamento e embarque de grãos para o segmento do Agronegócio, possuindo um armazém com capacidade para 120 mil toneladas de armazenamento e 6 silos que juntos podem comportar até 30 mil toneladas (Tabela 3). Atualmente a organização atende sobretudo às demandas dos seus acionistas: ADM do Brasil Ltda e Viterra.

Tabela 3 – Quadro resumo das características do TGPM.

Especificações / Características TGPM	
Capacidade estática (06 Silos e 01 Armazém)	150.000 Tons
Tombadores	01 com 21m e 01 com 26m
Shiploader	03 (Nominal de 2.000 t/h)
Capacidade de descarga hidroviária	1.500 t/hora
Capacidade de descarga rodoviária	600 t/hora
Berço	1 para navio com até 105.000 dwt do tipo Panamax e Neo Panamax
Profundidade no berço de navios	16,50 metros

Fonte: Operacional | TGPM (pontadamontanha.com), acesso em 12/08/2021.

Figura 6 – Localização do Terminal de Grãos Ponta de Montanha.



Fonte: Google Earth, adaptado (2022).

Figura 7 – Terminal de Grãos Ponta de Montanha – TGPM.



Fonte: DS Develop Desenvolvimento de Software, acesso em 12/08/2021.

5.4. TERMINAL FLUTUANTE DA MEGA LOGÍSTICA EM VILA DO CONDE

O Terminal da Mega Logística em Vila do Conde (Figura 8) é caracterizado através da operação Barge to Ship ou transbordo direto da balsa para o navio. O terminal flutuante opera com navios da classe Panamax com a utilização de uma embarcação guindaste operando a contrabordo do navio – floating crane (Tabela 4). A operação de navios Panamax na área do Porto Organizado de Vila do Conde acontece com a capacidade plena de carga (75.000 DWT) com calado de 13,80 m.

A empresa Mega Logística utiliza um Floating Crane (Figura 9) para o descarregamento da barça e carregamento do navio.

Figura 8 – Terminal de Grãos Ponta de Montanha – TGPM.



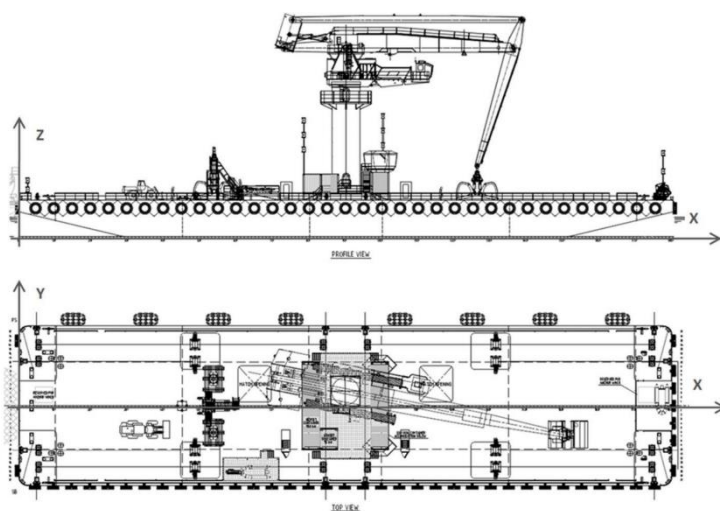
Fonte: MEGA LOGÍSTICA – Serviços Portuários Ltda (2021).

Tabela 4 – Tabela com as características técnicas do Floating Crane.

Comprimento Total	90,03 m
Comprimento entre perpendiculares	90,00 m
Boca total	22,05 m
Pontal moldado	4,975 m
Calado carregado	3,50 m
Calado de projeto	2,70 m

Fonte: MEGA LOGÍSTICA – Serviços Portuários Ltda (2020).

Figura 9 – Floating crane utilizado para as operações de transbordo ao largo.

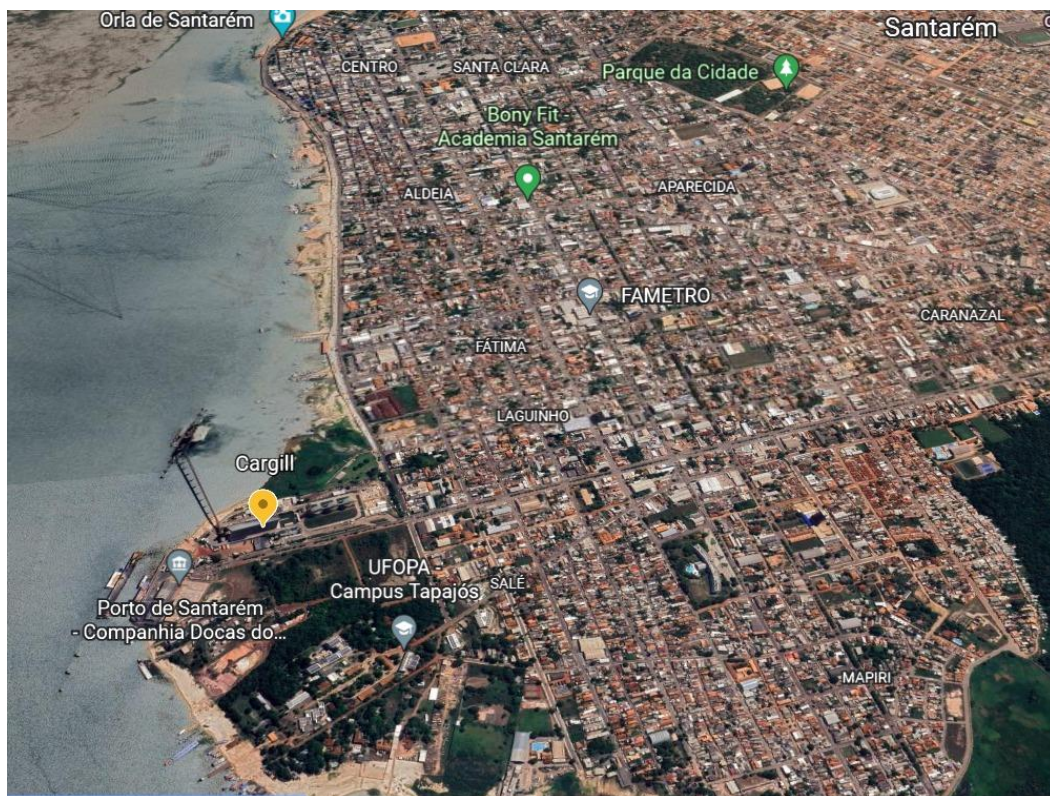


Fonte: MEGA LOGÍSTICA – Serviços Portuários Ltda (2021).

5.5. TERMINAL DA CARGILL EM SANTARÉM

A construção do Terminal da Cargill (Figuras 10 e 11) teve início em 1999 e sua operação começou em 2003. O Terminal Fluvial de Granéis Sólidos de Santarém foi construído para escoar parte da produção de grãos adquirida pela Cargill na região centro-oeste do Brasil (Mato Grosso), o que permitiu à comunidade local a possibilidade de escoamento de sua produção.

Figura 10 – Localização do Terminal da Cargill.



Fonte: Google Earth, adaptado (2022).

Atualmente o Terminal movimenta soja e milho, operando por meio dos modais rodoviário e hidroviário, sendo que mais de 95% dos grãos viajam do Mato Grosso até Porto Velho (RO) ou Miritituba (PA) em caminhões, onde são posteriormente transbordados para as barcaças que seguem até Santarém. Os outros 5% chegam ao terminal em caminhões vindos diretamente do estado do Mato Grosso através da BR-163 ou ainda da produção local.

A capacidade atual para embarque é de cinco milhões de toneladas de grãos ao ano e armazenagem de 114 mil toneladas.

Recebimento: o terminal possui dois tombadores com duas moegas para recebimento de caminhões, dois sugadores de grãos (vigans) e uma rosca transportadora (siwertell) para descarga de barcaças.

Armazenagem: capacidade de armazenamento de 114.000, sendo um armazém de 60.000 ton e três silos de 18.000 t cada um.

Embarque: o terminal possui uma linha de embarque, a partir do armazém e silos, com capacidade nominal de 1.500t/h, além da possibilidade de embarque direto das barcaças via rosca transportadora (siwertell) para navios, com capacidade nominal de 1.500t/h. Há também a possibilidade de descarga nos dois sugadores (vigans) com capacidade nominal de 700t/h (CARGILL, 2021).

Figura 11 – Terminal da Cargill em Santarém.

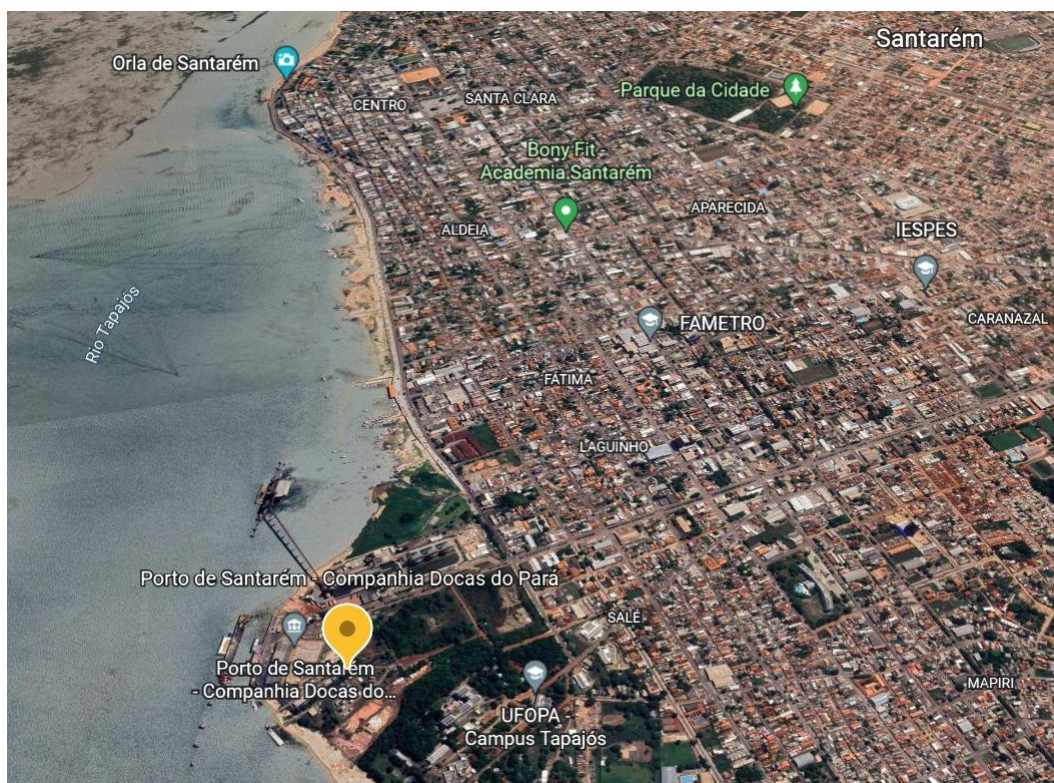


Fonte: Rede Brasil Atual, acesso em 12/08/2021.

5.6. TERMINAL DA CDP EM SANTARÉM

O Porto de Santarém (Figura 12) abrange uma área territorial de 498.370,89 m². Seu território é constituído de vias de tráfego asfaltadas e iluminadas disponíveis à utilização para movimentação de cargas.

Figura 12 – Localização do Terminal da CDP em Santarém.



Fonte: Google Earth, adaptado (2022).

Quanto às estruturas de acostagem, o terminal possui oito instalações acostáveis composta por píer, dolfin de atracação, cais fluvial, terminal de granéis sólidos, três terminais de granéis líquidos e rampa Ro-Ro (Figura 13).

O píer 100 possui instalação acostável configurada em formato de "L", construída em concreto pré-moldado, assentes sobre estacas inclinadas, executados em concreto armado, sendo construído na extremidade da ponte de acesso, possui dois berços de atracação 101 e 102 com 200m e 185m de extensão, respectivamente, preparados para receber navios de até 30.000 TPB, sendo destinados a realizar operações com carga geral e granel sólido. O píer foi projetado para sobrecarga de 3,0 t/m².

O dolfin de atracação 200 é constituído por um conjunto de estruturas de quatro dolfin de atracação e um de amarração, estruturas assentes sobre estacas inclinadas executadas em concreto armado, localizadas a montante e no mesmo alinhamento do píer 100, formando o berço 201 com 185,6m de extensão, preparado com defensas para receber embarcações de até 55.000 TPB, destinado a realizar

operações com granel sólido e o berço 202 com as mesmas dimensões, destinado a operações com barcaças, porém não se encontra operacional.

O cais fluvial 300 fica situado na área interna do píer 100, possui um berço de atracação 301 preparado para receber embarcações fluviais mista de passageiros e cargas gerais, sendo composto por uma estrutura de contenção como um muro de arrimo de flexão e de uma rampa com patamares executados em concreto armado.

Já o terminal de granel sólido 400 (Figura 14) é um terminal arrendado a Cargil, situado à jusante do píer 100, está equipado com uma correia transportadora em estrutura metálica com 374m de comprimento que liga o continente a estrutura de acostagem, a qual é composta por cinco dolphins de atracação e dois de amarração, sendo blocos assentes sobre estacas, executadas em concreto armado, destinadas as operações com navios e barcaças. Sendo o berço 401 destinado a operações com navios de até 60.000 TPB e o berço 402 destinado a operações com barcaças graneleiras.

A rampa fluvial (RF) é disponibilizada para operações com barcaças no sistema "ro-ro", situada na margem à direita do cais fluvial, preparada em solo natural constituído de material laterítico (piçarra), com largura de 70m.

Além de contar com área de retroporto preparada para receber a implantação de projetos para o escoamento da produção de grãos do centro-oeste, o porto possui as seguintes instalações:

Armazéns: dois armazéns com fechamento lateral, medindo 60,0m x 25,0m cada um, ocupa área total de 3.000 m²;

Galpões: dois galpões sem fechamento lateral com área de 1.200 m²;

Pátios Alfandegados: pátio pavimentado em concreto asfáltico com área disponível para armazenagem de 10.000 m² e pátio pavimentado em concreto armado com área preparada para armazenagem de 4.250 m²;

Pátios Armazenagem: pátio pavimentado em concreto asfáltico com área disponível para armazenagem de 10.000 m² e pátio pavimentado em concreto armado com área preparada para armazenagem de 4.250 m².

Figura 13 – Porto da CDP em Santarém.



Fonte: portogente.com.br, acesso em 1/2/08/2021.

Figura 14 – Terminal de grãos da CDP em Santarém.

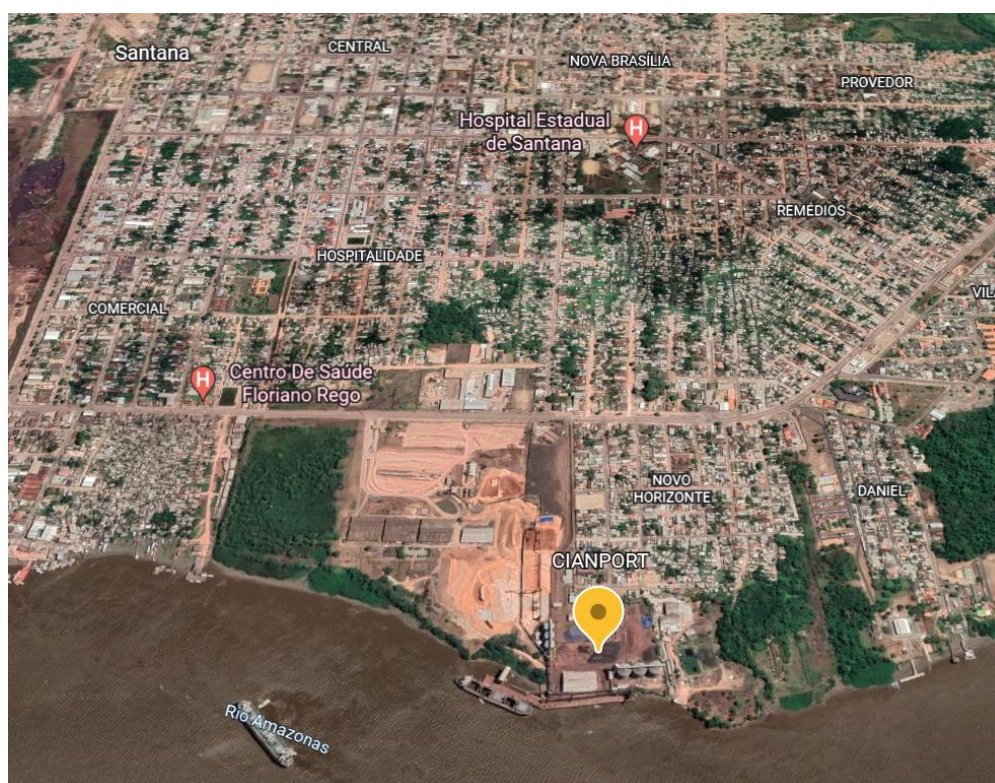


Fonte: MEGA LOGÍSTICA – Serviços Portuários Ltda (2021).

5.7. TERMINAL DA COMPANHIA NORTE DE NAVEGAÇÃO E PORTOS (CIANPORT) EM SANTANA NO AMAPÁ

As estruturas do Terminal de grãos da Cianport (Figura15), no Porto de Santana (AP), foram construídas no Porto Organizado da Companhia Docas de Santana, composto por três silos com capacidade de armazenamento de 54 mil toneladas de grãos, contendo descarregador de barcaças, esteiras transportadoras, balança de fluxo e expedição, o que permite o carregamento de navios de até 55 mil toneladas. Na ilha de Santana foi construído um Terminal de Uso Privativo (TUP) para movimentação de até 3,5 milhões de toneladas por ano, dentre suas instalações estão um cais de 300 metros, equipamentos de descarga de barcaças, estruturas de carregamento de navios e esteiras transportadoras (Figura 16).

Figura 15 – Localização Terminal da CIANPORT.



Fonte: Google Earth, adaptado (2022).

Figura 16 – Terminal da CIANPORT em Santana no Amapá.



Fonte: Departures | AIS Marine Traffic, acesso em 12/08/2021.

5.8. TERMINAL DA HERMASA EM ITACOATIARA NO AMAZONAS

O Terminal da Hermasa (Figura 17), onde acontece a importação e exportação de grãos, possui uma Estrutura de acostagem do tipo Píer Flutuante com dois berços (Figura 18), sendo um destes para a importação de grãos proveniente de barcaças para movimentação de farelo de soja, soja, óleo de soja, milho e fertilizantes. Na área de retro porto estão instalados 3 armazéns com capacidade total de 327.000 t. O Equipamento de Cais possui capacidade total de 1.500 t/h para embarque de granéis sólidos.

Figura 17 – Localização Terminal da HERMASA.



Fonte: Google Earth, adaptado (2022).

Figura 18 - Terminal da HERMASA em Itacoatiara no Amazonas.



Fonte: Hermasa, acesso em 12/08/2021.

6. MODELO DE AFERIÇÃO DE CAPACIDADE DOS TERMINAIS

Estudos de capacidade de sistema são relativamente simples quando o processo pode ser isolado e tratado por algum tipo de modelo teórico como, por exemplo, teoria de filas, que possuem chegadas com distribuição Poisson e estação de serviço com atendimento exponencial. Quando se trata de processos complexos, tais como, terminais portuários, que podem envolver um número grande de produtos, as inúmeras interações entre os sistemas e subsistemas dificultam o tratamento analítico e a simulação se torna a única saída viável. Neste contexto, a simulação de diversos cenários nas operações portuárias ajuda avaliar o desempenho do porto (DUINKERKEN et al 2006, DRAGOVIC et al., 2005).

O modelo proposto busca alcançar as questões suscitadas pelos objetivos, mesmo fazendo uso de hipóteses simplificadoras. Aliás, conforme solicitado através da metodologia científica, deve-se sempre partir de hipóteses simples e modificá-las somente à medida que estas parem de responder as questões relevantes identificadas. O modelo foi construído de maneira a não agregar detalhes que não contribuem na clarificação dos objetivos.

Com a busca do ótimo, sem hierarquizar alternativas, pode-se enquadrar o modelo como uma técnica de apoio à decisão à medida em que identifica gargalos no sistema através da formação e comportamento de filas.

O modelo proposto tem potencial para:

- I. Contribuir para o Planejamento Estratégico Portuário, permitindo análises dos efeitos decorrentes de grandes variações de demanda e de diferentes configurações de instalações;
- II. Contribuir para o Planejamento Operacional Portuário, permitindo análises dos efeitos de diferentes capacidades (equipamentos, estoques etc.), de diferentes rendimentos numa configuração (tipos de equipamento, produtividades, falhas etc.), assim como outras análises.

É importante ressaltar que, em novos projetos de construção portuária, a alocação de navios em berços é pré-definida, neste tipo de situação os estudos enfocam principalmente a capacidade dos equipamentos. O estudo em pauta abordou fluxos de cargas referentes à movimentação de apenas um produto, sendo aqui apresentado como grãos agrícolas (milho e soja). De forma bastante simplificada o modelo tem como infraestrutura básica:

- I. porto com 1 berço de atracação;
- II. uma armazenagem para exportação via porto, com chegadas por via hidroviária.

O modelo tem dois módulos, dos quais os mais importantes são:

- I. Módulo Portuário com um berço e equipamentos de carregamento de navios;
- II. Módulo do navio com diferentes tipologias (Panamax, Handy Max, etc.).

As aplicações da teoria de filas, no que se refere ao planejamento portuário, são diversas: determinação do número ótimo de berços de atracação; determinação da capacidade máxima de um porto ou terminal; viabilidade da substituição/compra de equipamentos de carga e descarga; cálculo de tarifas. A teoria de filas auxilia, portanto, na análise da ociosidade portuária, do congestionamento portuário e da situação ideal (com o porto operando dentro dos limites operacionais adequados) (MORAES NETO; MORAES; MORAES, 2017).

A partir da utilização da teoria de filas no planejamento de um porto, pode-se concluir quais medidas devem ser tomadas para a sua otimização. A curto prazo, tratar-se-á de medidas operacionais, a médio prazo, de medidas físico-operacionais e, a longo prazo, de medidas físicas (MORAES NETO; MORAES; MORAES, 2017).

De maneira geral, a teoria das filas utiliza as seguintes distribuições estatísticas: chegada de clientes e atendimento de clientes. A notação geral adotada na definição dos modelos é $X/Y/Z$, onde:

- X : distribuição estatística a ser adotada para a chegada de clientes;
- Y : distribuição estatística a ser adotada para o atendimento de clientes;
- Z : número de pontos de atendimento (serviço).

Os modelos de teoria de filas normalmente utilizados em planejamento portuário são:

- I. $M/M/n$: Poisson / Exponencial / número de berços;
- II. $M/E2/n$: Poisson / Erlang ($k=2$) / número de berços;
- III. $E2/E2/n$: Erlang ($k=2$) / Erlang ($k=2$) / número de berços.

$$\frac{T_w}{T_s} = \frac{(np)^n}{n(1-p)(np)^n + n \cdot n!(1-p)^2 \sum \frac{(np)^j}{j!}} \quad (01)$$

Para o cálculo da capacidade máxima de um terminal utilizando as relações da teoria de filas, requeresse:

- I. Número de Berços: n ;
- II. Consignação Média: q (toneladas/navio);
- III. Ano Operacional: ΔT (dias/ano);
- IV. Tempo de Serviço: T_s (dias/navio);
- V. Tempo de Espera Admissível: T_{wadm} (dias/navio).

Tais dados levarão ao valor de Q (movimentação, dada em toneladas/período).

O passo a passo utilizado neste trabalho é como segue:

1) Calcula-se ρ utilizando a relação:

$$\frac{T_{wadm}}{T_s} = \frac{\rho^n}{1-\rho^n} \quad (02)$$

Onde: ρ é a taxa de ocupação de um berço, em % e n é o número de berços de atracação, em unidades.

2) Calcula-se μ :

$$\mu = \frac{1}{T_s} \quad (03)$$

Onde: μ é a taxa média de serviço por navio, normalmente. É dada em navios/dia/berço.

3) Substitui-se o valor de μ na relação de ρ para determinar λ :

$$\rho = \frac{\lambda}{n \cdot \mu} \quad (04)$$

Onde: λ é a taxa média de chegada de navios, normalmente. É dada em navios/dia.

4) Calcula-se N :

$$\lambda = \frac{N}{\Delta T} \quad (05)$$

Onde: N é o número de navios ao longo do período, em navios/ano e ΔT é o intervalo de tempo, normalmente um ano completo ou um ano operacional.

Neste trabalho, considera-se o ano operacional de 330 dias.

5) Calcula-se Q

$$N = \frac{Q}{q} \quad (06)$$

Onde: Q é a movimentação, dada em toneladas/período e q é a consignação média do navio, dada em toneladas/navio.

O tempo de serviço é calculado como segue:

$$TS = TO + (TA + TD) \quad (07)$$

Onde: T_s é o tempo de serviço, em dias/navio; T_o é o tempo de operação, em dias/navio; T_a é o tempo de atracação, em dias/navio; T_d é o tempo de desatracação, em dias/navio.

Para a operacionalização do modelo foi desenvolvido uma planilha que possibilita a integração com o software @RISK onde se processa a otimização do processo integrado com as análises de risco baseada no método Monte Carlo. A planilha em referência (Anexo I), calcula a capacidade de movimentação do terminal e eficiência das operações do navio a partir de dados como:

- I. Distância: Bacia Amazônica - Xangai (km)
- II. Distância: Bacia Amazônica - Roterdã (km)
- III. Velocidade média dos navios (km/hora)
- IV. Tempo médio de navegação: Bacia Amazônica - Xangai (dias)
- V. Tempo médio de navegação: Bacia Amazônica - Roterdã (dias)
- VI. Número de berços por terminal
- VII. Consignação média (t)
- VIII. Ano operacional (dias)
- IX. Produtividade do berço (t/hora)
- X. Taxa de ocupação (0,50 - 0,85)

7. ANÁLISE DOS FRETES PARA OS NAVIOS DE TRANSPORTE DE GRÃOS

Para os navios da classe *supramax/handymax*, a BRS – Barry Rogliano Sales, empresa internacional de corretores de navios (*shipbrokers*), situa os níveis de fretes na faixa de US\$ 25.188, os da classe *handy* em US\$ 19.781 por dia e os *panamax* variam de US\$ 33.000 para navios novos e US\$ 20.000 para os mais antigos.

Segundo a BRS, foram adotadas as seguintes taxas médias de fretes por dia:

- I. Navios *Handysize*: US\$ 20.000/dia (0,66 US\$/t);
- II. Navios *Handymax/supramax*: US\$ 25.000/dia (0,45 US\$/t);
- III. Navios *Panamax*: US\$ 26.500/dia (0,37 US\$/t);
- IV. Navios *New Panamax*: US\$ 28.000/dia (0,23US\$/t);
- V. Navios *Capesize*: US\$ 30.000/dia (0,17US\$/t);
- VI. Navios *VLBC* : US\$ 36.000/dia (0,11 US\$/t); (*VLBC*- Very Large Bulk Carries).

Para as exportações de soja serão considerados três tipos de navios, tomando-se os seguintes tempos de viagem para a velocidade de cruzeiro de 13 nós:

- I. Da Bacia Amazônica para Roterdã – 15 dias
- II. Da Bacia Amazônica para Xangai – 38,5 dias

Os valores de frete foram mostrados da mesma forma na Tabela 5, através da multiplicação do tempo de viagem pelo custo diário do navio, sendo dividido pela consignação do navio. A taxa de câmbio considerada é de R\$ 5,50 por dólar.

Tabela 5 – Exportação de soja em grão, fretes e economias por destino.

Tipo de Navio	<i>Capesize</i>	<i>New panamax</i>	<i>Panamax</i>	<i>Handymax</i>
Custo Navio (US\$/dia)	30.000,00	28.000,00	26.500,00	25.000,00
Conversão R\$/US\$	5,5	5,5	5,5	5,5
Custo Navio (R\$/dia)	165.000,00	154.000,00	145.750,00	137.500,00
Consignação do Navio (t)	170.000	110.000	80.000	60.000
Tempo de Viagem Bacia Amazônica - Roterdã (dias)	15	15	15	15
Frete da Bacia Amazônica para Roterdã (R\$/t)	14,56	21,00	27,33	34,38
Economias com a utilização de navios maiores (R\$/t)	19,82	13,38	7,05	0
Tempo de Viagem Bacia Amazônica - Xangai (dias)	38,5	38,5	38,5	38,5
Frete da Bacia Amazônica para Xangai (R\$/t)	37,37	53,90	70,14	88,23
Economias com a utilização de navios maiores (R\$/t)	50,86	34,33	18,09	0

Fonte: Autor (2021).

8. DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS PORTUÁRIOS

8.1. TERMINAL DE GRÃOS VEGETAIS

Os Terminais de grãos vegetais hoje existentes na Amazônia apresentam potencial de movimentação da ordem de 4.000.000 toneladas/ano, tendo como principais produtos a soja e o milho, no sentido de exportação.

Este potencial de movimentação, considerando todos os terminais existentes na bacia amazônica, pode alcançar 32 milhões de toneladas movimentadas por ano. Entretanto, segundo o Governo do Estado do Pará, foram exportados em 2020 um total de aproximadamente 17 milhões de toneladas de soja e milho pelos portos de Santarém e pelo complexo portuário de Vila do Conde.

8.2. CUSTO OPERACIONAL DOS TERMINAIS

As tarifas portuárias são apontadas como um dos fatores chave de sucesso dos portos, pois é a partir dela, que a autoridade portuária cobre o serviço prestado ao usuário.

Como exemplo para este trabalho, considerou-se a Tabela 6 de tarifária vigente na Companhia Docas do Pará¹.

Tabela 6 – Estrutura da Tarifa Portuária da Companhia Doca do Pará.

TABELA	SERVIÇO
I	Utilização Da Infraestrutura De Acesso Aquaviário
II	Utilização Das Instalações De Acostagem
III	Utilização Da Infraestrutura Operacional Ou Terrestre
IV	Serviço De Movimentação De Cargas
V	Serviços De Armazenagem
VI	Utilização De Equipamentos
VII	Serviços Diversos Ou Gerais

Fonte: CDP (2017).

¹ Disponível em < <https://www.cdp.com.br/tarifas-portuarias/taxas/tabela-i>>. Acesso em abr. 2020.

Para a análise de viabilidade foram considerados somente os valores referentes aos grupos da Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9, em vigor a partir de março de 2020. A receita bruta foi obtida da multiplicação entre a movimentação e o respectivo valor presente nas tabelas, ao longo dos 35 anos.

Na Tabela 7, considerou-se o valor de R\$2,25/t para granéis:

Tabela 7 – Utilização da Infraestrutura Aquaviária.

Nome do Grupo	Modalidade	Forma de Incidência	Tarifa
Tabela I	1	Por tonelada de mercadoria carregada, descarregada ou baldeada na navegação de cabotagem ou longo curso.	R\$ 2,25
	2	Por contêiner carregado, descarregado ou baldeado.	-
	2.1	Contêiner cheio	R\$ 44,79
	2.2	Contêiner vazio	R\$ 7,62
	3	Por veículo movimentado pelo sistema Roll-on-Roll-off	-
	3.1	Carreta, reboque ou caminhão	R\$ 8,83
	3.2	Cavalo mecânico	R\$ 2,21
	3.3	Automóveis e Utilitários até 2 toneladas	R\$ 0,88
	4	Por tonelada de porte bruto de embarcação de passageiros, cargueiros e demais embarcações sem movimentação de mercadoria na área do porto organizado.	R\$ 0,38

Fonte: CDP / Deliberação DIREXE Nº 06/2020.

Na Tabela 8 obteve-se um valor médio considerando navio de 200 m e tempo médio de atracação de 48 horas (0,47 x 366 (New Panamax) x 48 x 24): R\$198.167,00/navio ou média de R\$ 1,65/t.

Tabela 8 – Utilização das Instalações de Acostagem.

Nome do Grupo	Modalidade	Forma de Incidência	Tarifa
Tabela II	1	Por metro linear do comprimento total de embarcação atracada, por hora ou fração.	R\$ 0,47

Fonte: CDP / Deliberação DIREXE Nº 06/2020.

Já na Tabela 9, o granel sólido é tarifado em R\$4,79/t.

Tabela 9 – Utilização da Infraestrutura Terrestre.

Nome do Grupo	Modalidade	Forma de Incidência	Tarifa
Tabela III	1	Por tonelada de mercadoria transitada a partir da embarcação até as instalações de armazenagem ou limite do porto, ou no sentido inverso	-
	1.1	Carga geral.	R\$ 3,90
	1.2	Granel sólido.	R\$ 4,79
	1.3	Granel líquido.	R\$ 6,46
	2	Por veículo transitado pelo sistema Roll-on-Roll-off.	-
	2.1	Carreta, reboque ou caminhões	R\$ 30,46
	2.2	Cavalo mecânico.	R\$ 7,62
	2.3	Automóveis e utilitários até 2 toneladas	R\$ 3,04
	3	Por contêiner transitado a partir da embarcação até as instalações de armazenagem ou limite do Porto, ou no sentido inverso.	-
	3.1	Contêiner cheio.	R\$ 58,49
	3.2	Contêiner vazio.	R\$ 29,24
	4	Por tonelada de combustíveis ou inflamáveis transitada pelas instalações Portuárias em veículos-tanque, para abastecimento de embarcações.	R\$ 1,76

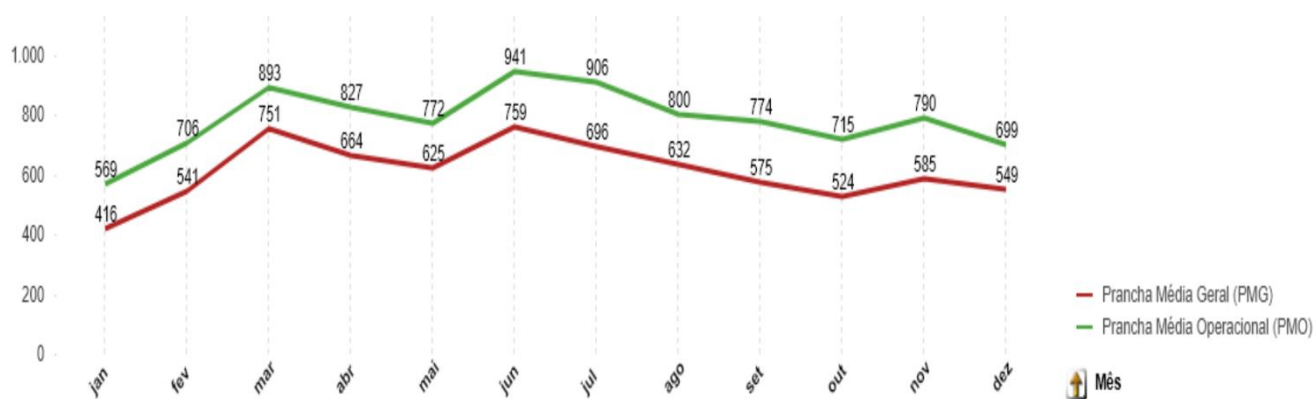
Fonte: CDP / Deliberação DIREXE Nº 06/2020.

Sendo a Tarifa final de granel sólido igual a R\$8,69/t.

9. ANÁLISE DA CAPACIDADE MÁXIMA DE MOVIMENTAÇÃO DOS TERMINAIS DE GRÃOS AGRÍCOLAS DA BACIA AMAZÔNICA E DESEMPENHO DOS NAVIOS NAS ROTAS

Segundo o Gráfico 2 a prancha média dos terminais de grãos localizados no Estado do Pará com destino as exportações de longo curso têm valor médio de 783 t/h.

Gráfico 2 – Evolução da Prancha média da movimentação de granéis agrícolas no Estado do Pará.



Fonte: ANTAQ, 2020.

Utilizando dados médios praticados nos terminais do Estado do Pará montou-se a Tabela 10, que auxilia no cálculo da capacidade máxima de movimentação de grãos dos oito terminais de exportação existentes na Bacia Amazônica, a partir do modelo de teoria de filas apresentado.

Tabela 10 – Cálculo da capacidade máxima de movimentação de grãos dos 9 (nove) terminais existentes no Estado do Pará para um tempo de espera na fila de 5 dias.

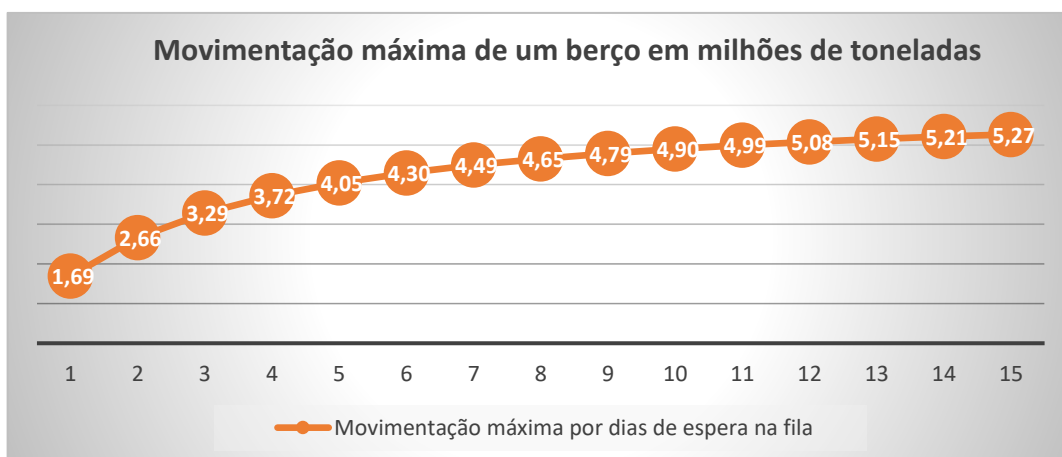
Número de berços por terminal	1
Consignação média (t)	50000
Ano operacional (dias)	330
Produtividade do berço (t/hora)	783
Tempo de espera admissível (dias)	5,0
Tempo de serviço (dias)	2,7
Taxa de ocupação	0,65
Taxa de serviço (navios/dia)	0,38
Taxa média de chegadas (navios/dia)	0,25
Número de navios por ano	81
Movimentação anual de carga (t/ano)	4.047.511,71

Fonte: Autor (2021).

Conforme observa-se na Tabela 10, a quantidade máxima de carga instalada nos oito terminais existentes na bacia amazônica é de 32.460.093,70 toneladas de grãos por ano, considerando um tempo de espera dos navios de no máximo 5 dias. Levando em conta que a previsão para 2030 é de 59.548.500 toneladas para serem movimentadas através da bacia amazônica, verifica-se que existe um déficit de aproximadamente 50% de capacidade instalada nos terminais existentes na bacia amazônica para atendimento das exportações de grãos até o referido ano.

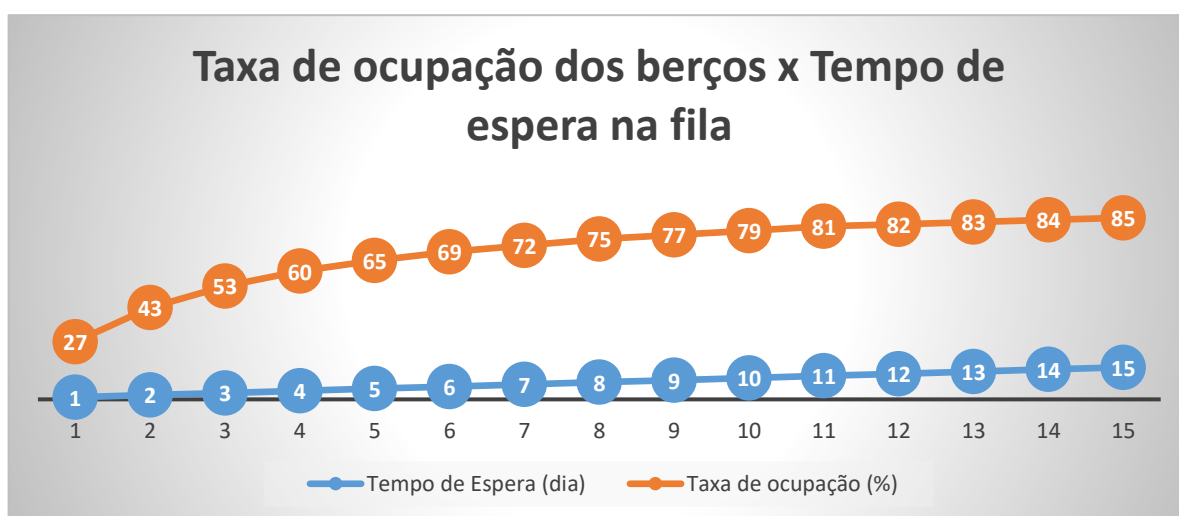
Os Gráficos de 3 a 10 apresentam os resultados das análises que foram baseadas na teoria de filas aplicadas nos oito terminais para a navegação de longo curso na bacia amazônica.

Observa-se no Gráfico 3, que à medida que o tempo de espera na fila aumenta, a capacidade de movimentação do berço tende a se estabilizar, isso é mais visível a partir de 10 dias de espera na fila para as operações de carregamento.

Gráfico 3 – Movimentação máxima de um berço em milhões de toneladas.

Fonte: Autor (2021).

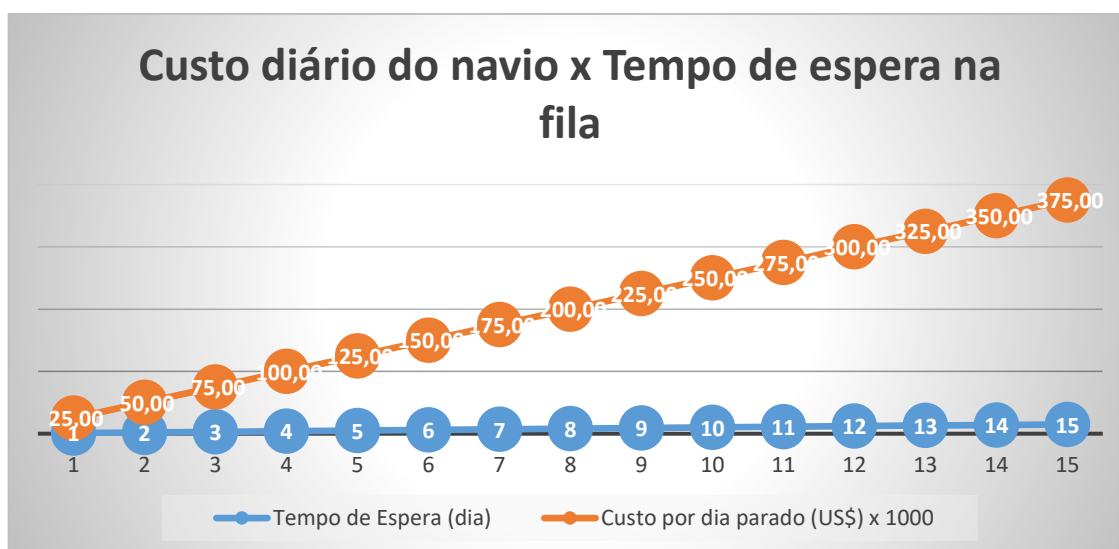
O Gráfico 4 identifica que a partir de 10 dias na fila, as taxas de ocupação dos berços tendem a ficar estáveis e com pouca variação. Isso indica que o sistema operacional do terminal já está apresentando congestionamento e o berço já está no limite da sua capacidade, além disto, o navio permanece com elevado tempo de espera na fila, o que começa a inviabilizar a espera devido a perda de produtividade anual dos navios e seus altos custos.

Gráfico 4 – Taxa de ocupação dos berços x Tempo de espera na fila.

Fonte: Autor (2021).

Já o Gráfico 5 relaciona o tempo de espera na fila com o custo diário do navio tipo handmax, observa-se que esse custo aumenta significativamente com o passar dos dias em espera. Este fato faz com que ocorra um aumento nos custos do transporte devido a ineficiência dos terminais.

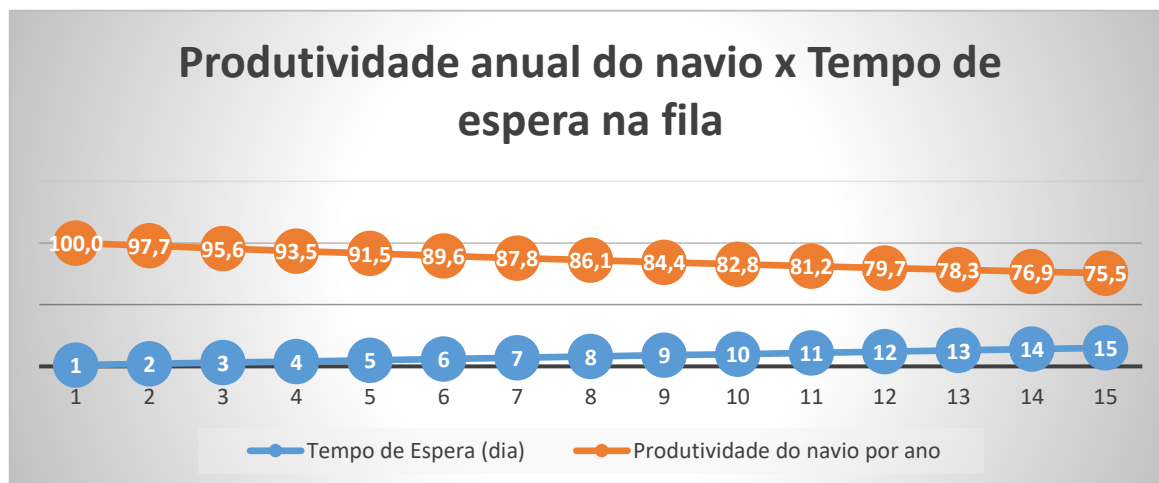
Gráfico 5 – Custo diário do navio x Tempo de espera na fila.



Fonte: Autor (2021).

O Gráfico 6 identifica a existência de uma perda de produtividade de transporte do navio conforme o tempo de espera na fila aumenta. Um navio que espera 15 dias na fila perde 25% de sua produção de transporte na linha bacía amazônica – Xangai. Essa perda é ainda maior para linhas mais curtas como no caso da linha bacía amazônica para Roterdã.

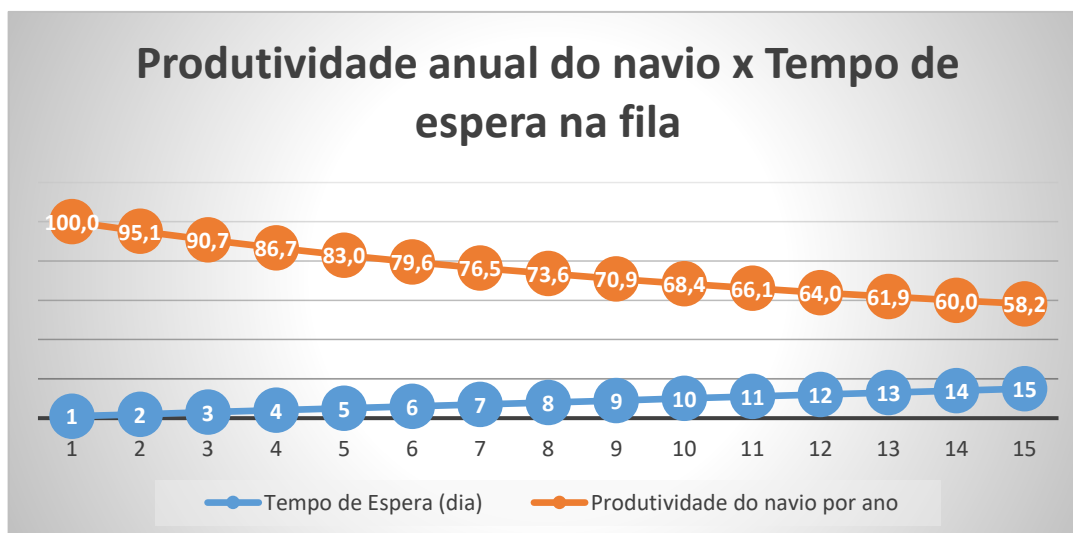
Gráfico 6 – Produtividade anual do navio x Tempo de espera na fila (Linha: Bacia Amazônica – Xangai).



Fonte: Autor (2021).

Já o Gráfico 7 identifica que a perda de produtividade é ainda maior em linhas mais curtas, como é o caso de portos da Bacia Amazônica para Roterdã, onde, nesse caso, a perda chega a aproximadamente 40%.

Gráfico 7 – Produtividade anual do navio x Tempo de espera na fila (Linha: Bacia Amazônica – Roterdã).

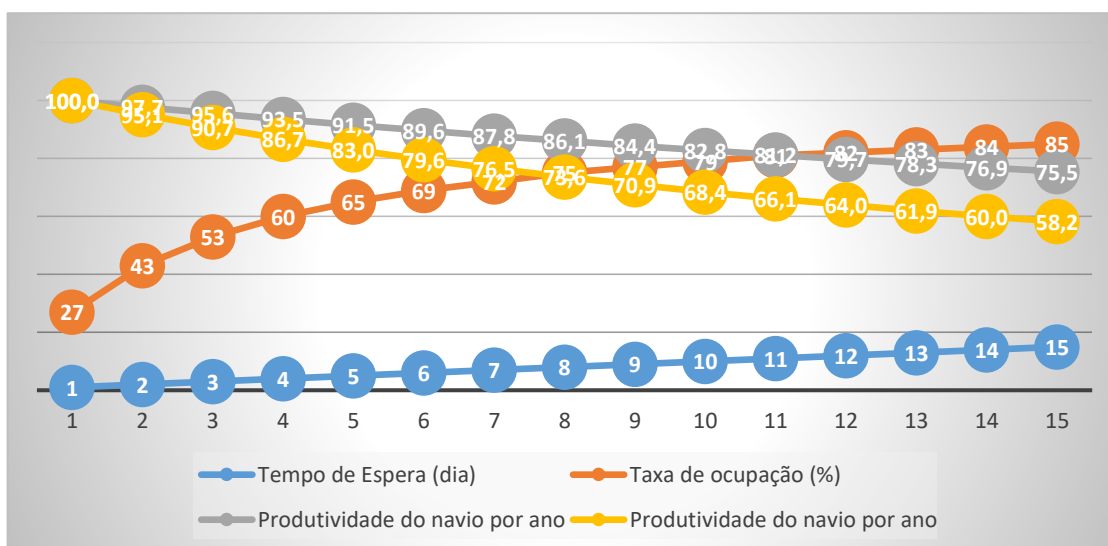


Fonte: Autor (2021).

Observa-se que no Gráfico 8 a taxa de ocupação tende a ficar mais significativa indicando o congestionamento do porto a partir de oito dias de espera do navio na fila,

o que coincide também com o cruzamento da perda de produtividade do navio pelo tempo de espera no caso de linhas mais curtas. Conclui-se que tempos de espera em filas superiores a oito dias podem causar perdas de produtividades anuais superiores a 30%.

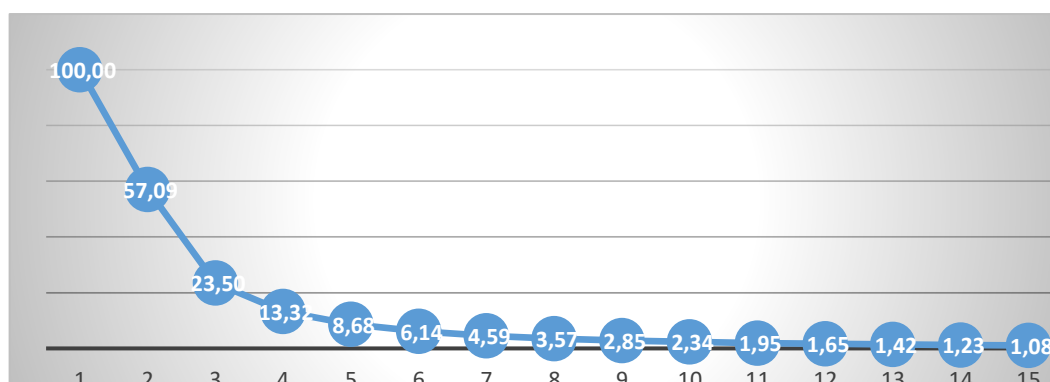
Gráfico 8 – Produtividade anual do navio x Taxa de ocupação x Tempo de espera na fila.



Fonte: Autor (2021).

Já o Gráfico 9 identifica que a partir de cinco dias de espera na fila, o berço começa a ter pouca evolução em sua capacidade de movimentação, o que indica a necessidade de buscar-se novas alternativas para aumento de produtividade do berço ou de construção de um novo berço de atracação.

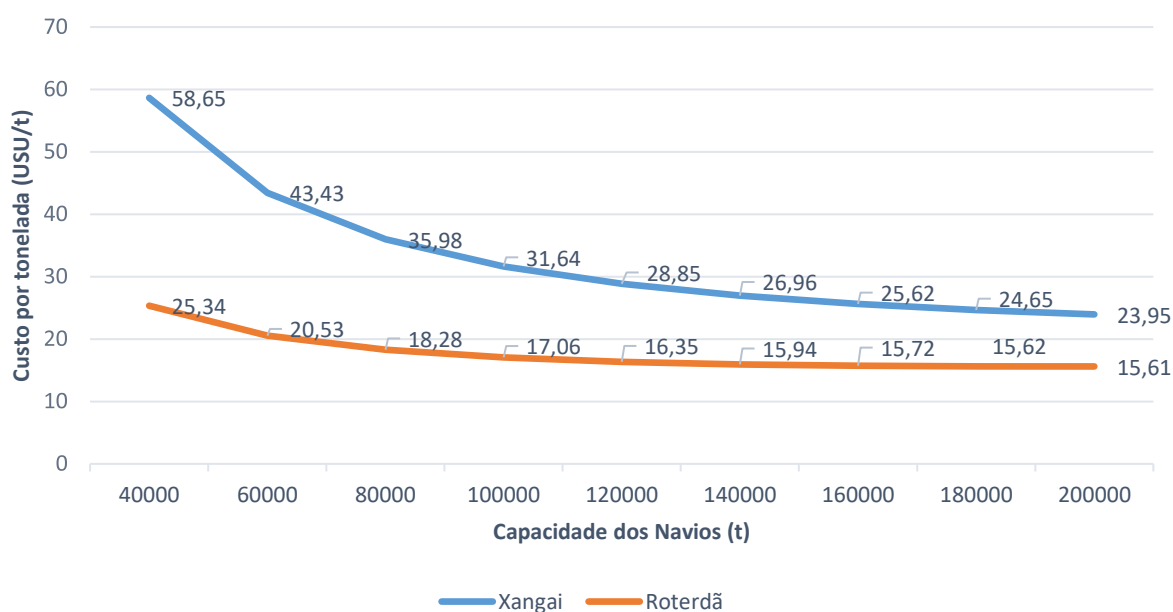
Gráfico 9 – Taxa de crescimento da movimentação x Tempo de espera na fila em dias.



Fonte: Autor (2021).

Observa-se no Gráfico 10, que na linha da Bacia Amazônica – Roterdã, os ganhos significativos com redução de custos por tonelada transportada limitam-se a navios de 120.000 toneladas de capacidade. Já para a linha Bacia Amazônica – Xangai verifica-se ganhos significativos com a redução de custos por tonelada transportada de soja para navios de até 200.000 toneladas de capacidade. Este fato indica que navio de grande capacidade tem grandes reduções no custo por tonelada transportada para grandes distâncias, como o caso da linha Bacia Amazônica – Xangai. Deste modo, conclui-se que a distância diminui sua importância com o aumento da capacidade do navio.

Gráfico 10 – Custo por tonelada de soja transportada x DWT.



Fonte: Autor (2021).

10. ANÁLISE DE OTIMIZAÇÃO E RISCO DOS TERMINAIS

O modelo com a ferramenta RiskOptimizer é utilizado para achar a melhor configuração e desempenho dos terminais e navios, tendo como premissa o ciclo completo do sistema de transporte, considerando os custos portuários e os custos com as viagens dos navios como um resultado global a ser analisado.

A utilização da ferramenta do RiskOptimizer acoplada com o modelo desenvolvido nesta dissertação, visa possibilitar a análise completa com 1000 interações e 100 simulações, do sistema de exportação de grãos brasileiros através da Bacia Amazônica por duas rotas principais: Bacia Amazônica – Xangai e Bacia Amazônica – Roterdã.

10.1. MODELO PARA ANÁLISE

Utiliza-se da ferramenta mencionada acima para achar os custos mínimos por tonelada da movimentação de grãos agrícolas e os volumes máximos de cargas possíveis de serem movimentadas pelos terminais existentes na bacia amazônica, nas rotas Bacia Amazônica – Xangai e Bacia Amazônica – Roterdã.

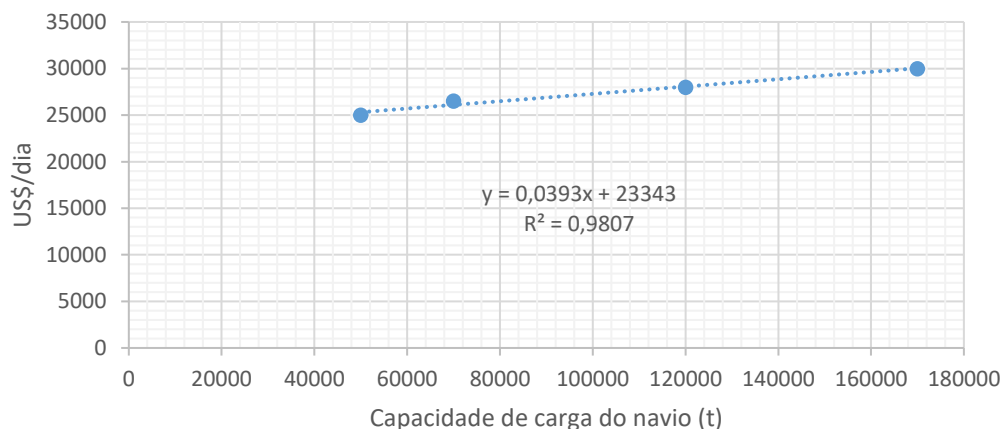
Para a análises dos resultados, teve-se como meta, encontrar o melhor desempenho do conjunto operacional (Porto e Navio), através do menor custo global da operação, a máxima movimentação possível por terminal e pelo conjunto dos terminais existentes na bacia amazônica.

Para a obtenção do custo diário do navio foi realizada a análise de regressão simples, correlacionando a capacidade do navio com o custo diário deste. Com a utilização do modelo desenvolvido na pesquisa, foi feita a análise da situação atual dos terminais de exportação de grãos vegetais buscando identificar, principalmente, as taxas de produtividade dos navios, movimentação máxima dos terminais e custos totais do transporte, incluindo o custo portuário em conjunto com o transporte marítimo.

O modelo feito para análise consta com diversos dados, de início os dados de custo por dia de um navio por categoria foram obtidos por BRS – Barry Rogliano Sales,

gerando o Gráfico 11, com isto foi possível achar a fórmula para adquirir o dado de custo por tonelada transportada.

Gráfico 11 – Custo (US\$) /dia do navio por capacidade de carga.



Fonte: Autor (2021).

Na Tabela 11 apresentam-se os dados de entrada, com o número de terminais, distâncias da Bacia Amazônica a Xangai e Roterdã, velocidade média dos navios, tempo médio de navegação e custo de um berço de atracação em dólar americano.

Tabela 11 – Dados de entrada do modelo.

	Custo /dia (US\$)
Custo dia de um navio Hadmax (50.000t)	25,000.00
Custo dia de um navio Panamax (70.000t)	26,500.00
Custo dia de um navio new panamax (120.000t)	28,000.00
Custo dia do navio capesize (170.000t)	30,000.00
Número de Terminais de exportação de LC no Pará	8
Distância: Bacia Amazônica - Xangai (km)	23,000
Distância: Bacia Amazônica - Roterdã (km)	7,600
Velocidade média dos navios (km/hora)	24
Tempo médio de navegação: Bacia Amazônica - Xangai (dias)	40
Tempo médio de navegação: Bacia Amazônica - Roterdã (dias)	13
Custo de um berço de atracação para grãos(US\$)	250,909,091

Fonte: Autor (2021)

Em seguida tem-se os dados variantes, sendo as variáveis (Input) de decisão do modelo o seguinte:

- I. Número de berços por terminal: **variação - 1 a 2**
- II. Consignação média do navio: **variação - 40000 a 150000**

- III. Produtividade do berço (t/h): **variação - 750 a 2000**
 IV. Taxa de ocupação do berço: **variação - 0,50 a 0,85**

Com os dados variáveis é possível obter as referências da primeira parte do modelo, como mostra a Tabela 12.

Com a consignação média e a produtividade do berço é possível achar o tempo de serviço em dias. Com este dado obtido, adicionando-se a taxa de ocupação e quantidade de berços é possível achar o tempo de espera na fila.

A taxa de serviço de um navio é dada pela divisão do número de navios anuais pelo tempo anual disponível para operação do porto. Multiplicando essa taxa, com a quantidade de berços e a taxa de ocupação, se obtém a taxa média de chegada navios/dia.

O número de navios por ano pode ser calculado pela multiplicação da taxa de chegada pelo número de dias operacionais. Com esse resultado multiplicado pela consignação média, tem-se a movimentação anual de carga t/ano.

Tabela 12 – Dados do modelo.

Tempo de serviço (dias)	3.7
Tempo de espera na fila	8.7
Taxa de serviço (navios/dia)	0.27
Taxa média de chegadas (navios/dia)	0.19
Número de navios por ano	62
Movimentação anual de carga (t/ano)	4,340,952.00

Fonte: Autor (2021).

Na segunda parte do modelo é possível observar os dados de cada rota, a Tabela 13 apresenta os dados da rota Bacia Amazônica – Xangai, enquanto que a Tabela 14 apresenta os dados da rota Bacia Amazônica – Roterdã, as informações em ambas são similares, mudando somente o resultado de cada item. Inicialmente tem-se o custo do navio no sistema portuário (calculado com a equação obtida com o Gráfico 11), onde há o cálculo dos dias de viagem das rotas, seguido da produtividade

máxima anual do navio na linha, número máximo de viagens por ano, número de viagens possíveis com o novo tempo de espera na fila e a produtividade efetiva anual do navio na linha.

Com os dados mencionados acima, pode-se obter o percentual de perda de produtividade do navio em sua linha, custo da frota de navio navegando por ano, custo da frota de navio navegando somado ao custo imobilizado nos portos por ano e por fim agregando todos esses resultados, tem-se o custo por tonelada transportada em dólar por tonelada.

Tabela 13 – Dados da rota Bacia Amazônica – Xangai.

Custo do navio no sistema portuario (US\$)	323,999.57
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Xangai sem tempo de espera	83.59
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Xangai com tempo de espera	92.28
Produtividade maxima anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Xangai (t)	276,361.74
Numero máximo de viagens por ano	3.95
Numero de viagens possíveis com o novo tempo de espera na fila	3.58
Produtividade efetiva anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Xangai (t)	250,331.22
Perda de produtividade do navio na linha: Bacia Amazônica - Xangai	9%
Custo da frota de navio navegando por ano	149,322,262.65
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	149,646,262.22
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	34.47

Fonte: Autor (2021).

Tabela 14 – Dados da rota Bacia Amazônica – Roterdã.

Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Roterdã sem tempo de espera	30.11
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Roterdã com tempo de espera	38.81
Produtividade maxima anual do navio (%) Linha: Bacia Amazônica - Roterdã (t)	767,088.18
Numero maximo de viagens por ano	10.96
Numero de viagens possíveis com o novo tempo de espera na fila	8.50
Produtividade anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Roterdã (t)	595,276.13
Perda de produtividade do navio na linha: Bacia Amazônica - Roterdã	22%
Custo da frota de navio navegando por ano (US\$)	62,794,428.18
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	63,118,427.75
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	14.54

Fonte: Autor (2021).

Na parte final do modelo temos os dados do custo do berço de atracação, fator de recuperação de capital, custo de capital anual de um berço, custo operacional em dólar por tonelada, custo de operação de um berço de atracação em dólar por navio e o resultado final da movimentação máxima de graneis agrícolas a partir da bacia amazônica (Tabela 15).

Tabela 15 – Dados da rota Bacia Amazônica – Roterdã.

Custo do (s) berços de atracação	250,909,090.91
Fator de recuperação de capital (FRC) para vida útil de 30 anos e taxa de 12%aa	0.1241
Custo de capital anual de um berço de atracação	31,148,772.26
Custo por dia do berço	85,339.10
Custo operacional (US\$/t)	4.55
Custo de operação de um berço de atracação (US\$/navio)	318,181.82
Movimentação máxima de graneis agrícolas a partir da bacia amazonica	34,727,616.00

Fonte: Autor (2021).

10.2. MODELO COM OS DADOS DA SITUAÇÃO ATUAL DO SISTEMA DE TRANSPORTE DE GRÃO DA AMAZÔNIA.

Com a utilização do modelo desenvolvido na pesquisa, foi realizada análise da situação atual dos terminais de exportação de graneis vegetais buscando identificar, principalmente, as taxas de produtividade dos navios, movimentação máxima dos terminais e custos totais do transporte incluindo o custo portuário em conjunto com o transporte marítimo e, por fim a capacidade máxima por terminal, além dos oito terminais existentes na Bacia Amazônica.

A Tabela 16 apresenta a situação atual do sistema de exportação de grãos através do arco norte, onde verificam-se os cálculos dos parâmetros de operacionalidade do navio e terminal de maneira estática, buscando analisar o sistema como um todo, calculando os custos do navio e os custos dos terminais portuários, visando identificar o custo conjunto do transporte com o reconhecimento das perdas de produtividade dos navios conforme a rota e o tempo despendidos nos sistemas portuários, englobando os tempos de fundeio e atracação. Essa visão,

inédita no cenário de transporte, tem como meta a construção de soluções melhores e mais eficientes para as rotas de navegação do agro negócio a partir da Bacia Amazônica.

Na situação atual, verifica-se que o navio apresenta perdas de produtividade de 9% e 22% respectivamente nas linhas para Xangai e Roterdã e custos totais de transporte de 34,7 e 14,5 dólares por toneladas nas respectivas linhas, sendo que essa perda é maior na linha mais curta, no caso a linha para Roterdã. Observa-se também que o limite máximo de movimentação de grãos agrícolas no Arco Norte, levando em consideração a estagnação nos moldes atuais, chega no máximo a 34,7 milhões de toneladas.

Soluções são possíveis para melhorar esses números de custo e produtividade, uma destas seria o aumento da produtividade de carregamento dos terminais, o que diminuiria a taxa de ocupação dos berços e conseqüentemente o tempo dos navios no sistema portuário, aumentando a produtividade do navio no ano e reduzindo os custos.

Com a utilização do método proposto, onde está localizado o software RiskOptimize, foi possível analisar as linhas, objetivando a minimização dos custos totais de transporte por tonelada e maximização da movimentação de carga do terminal. Na prática, é bastante frequente encontrar problemas em que uma boa solução deve necessariamente atender de maneira satisfatória a todos os objetivos em questão. Nestas situações não se considera aceitável uma solução que apresente uma boa avaliação para um objetivo, mas que seja ruim para outro.

Desta forma, nesta dissertação ocorre um problema típico de se otimizar o custo de forma a ser mínimo, e maximizar a capacidade de movimentação do terminal. Em um caso como este, não é aceitável uma solução de baixo custo, onde a movimentação esperada para o terminal não seja aceitável. Em outras palavras, é necessária uma solução mais balanceada, com o melhor compromisso possível entre baixo custo e alta movimentação de carga. Em busca desta solução, utilizou-se um peso balanceado onde as importâncias de custo e movimentação possuem a mesma carga. Assim, executou-se o programa onde foram encontrados os resultados que apresentam os menores valores de custos por tonelada nas linhas em análise, com a maximização da movimentação do terminal (Tabela16).

Tabela 16 – Dados atuais calculados com o modelo proposto.

Número de Term+B10:B32inais de exportação de LC no Pará	8
Distância: Bacia Amazônica - Xangai (km)	23,000
Distância: Bacia Amazônica - Roterdã (km)	7,600
Velocidade média dos navios (km/hora)	24
Tempo médio de navegação: Bacia Amazônica - Xangai (dias)	40
Tempo médio de navegação: Bacia Amazônica - Roterdã (dias)	13
Custo de um berço de atracação para grãos(US\$)	250,909,091
Número de berços por terminal (1 -2)	1
Consignação média (t) (40000 - 150000)	70,000
Ano operacional (dias) (FIXO)	330
Produtividade do berço (t/hora) (400 - 2000)	783
taxa de ocupação (0,50 - 0,85)	0.70
Tempo de serviço (dias)	3.7
Tempo de espera na fila	8.7
Taxa de serviço (navios/dia)	0.27
Taxa média de chegadas (navios/dia)	0.19
Número de navios por ano	62
Movimentação anual de carga (t/ano)	4,340,952.00
Custo do navio no sistema portuario (US\$)	323,999.57
Rota de Xangai	
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Xangai sem tempo de espera	83.59
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Xangai com tempo de espera	92.28
Produtividade máxima anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Xangai (t)	276,361.74
Numero máximo de viagens por ano	3.95
Numero de viagens possíveis com o novo tempo de espera na fila	3.58
Produtividade efetiva anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Xangai (t)	250,331.22
Perda de produtividade do navio na linha: Bacia Amazônica - Xangai	9%
Custo da frota de navio navegando por ano	149,322,262.65
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	149,646,262.22
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	34.47
Rota de Roterdã	
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Roterdã sem tempo de espera	30.11
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Roterdã com tempo de espera	38.81
Produtividade máxima anual do navio (%) Linha: Bacia Amazônica - Roterdã (t)	767,088.18
Numero maximo de viagens por ano	10.96
Numero de viagens possíveis com o novo tempo de espera na fila	8.50
Produtividade anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Roterdã (t)	595,276.13
Perda de produtividade do navio na linha: Bacia Amazônica - Roterdã	22%
Custo da frota de navio navegando por ano (US\$)	62,794,428.18
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	63,118,427.75
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	14.54
Custo do (s) berços de atracação	250,909,090.91
Fator de recuperação de capital (FRC) para vida útil de 30 anos e taxa de 12%aa	0.1241
Custo de capital anual de um berço de atracação	31,148,772.26
Custo por dia do berço	85,339.10
Custo operacional (US\$/t)	4.55
Custo de operação de um berço de atracação (US\$/navio)	318,181.82
Movimentação máxima de graneis agrícolas a partir da bacia amazonica	34,727,616.00

Fonte: Autor (2021).

É notório que, caso haja uma estagnação, o limite máximo dos terminais portuários hoje instalados na região norte, teriam uma capacidade máxima de aproximadamente 35 milhões de toneladas anuais. Contra uma previsão, já para o ano de 2030, de 60 milhões de toneladas de grãos saindo pelos terminais portuários da referida região.

Em busca de se extrair a máxima capacidade produtiva dos terminais fez-se a otimização dos parâmetros principais de aumento de produtividade dos terminais para se alcançar a capacidade desejada para 2030, sem a necessidade de construção de novos terminais portuários para a exportação de grãos.

11. RESULTADOS

O estudo contempla a avaliação e a capacidade operacional de um terminal portuário considerando distintos níveis de produtividade, taxa de ocupação e consignação dos navios para o período operacional de 330 dias. Levando em consideração que os terminais em análise só movimentam um tipo de produto, o grão agrícola (soja e milho), sendo todos no sentido da exportação. Para atingir sua capacidade máxima o terminal poderá expandir o seu arranjo em um total de 2 berços de atracação. O terminal, em sua configuração inicial, terá apenas um berço de exportação de grãos, sendo composto por dois carregadores de navios com capacidade efetiva de 800 t/h até 2000 t/h. Buscou-se avaliar o sistema com uma taxa de ocupação variando entre 50% e 85%, com a finalidade de se avaliar os tempos imobilizados na fila, na Tabela 17 temos esses valores no mínimo.

Tabela 17 – Dados variáveis no mínimo.

	INICIO
Número de berços por terminal (1 -2)	1
Consignação média (t) (40000 - 150000)	40.000
Ano operacional (dias) (FIXO)	330
Produtividade do berço (t/hora) (800 - 2000)	800
taxa de ocupação (0,50 - 0,85)	0,50

Fonte: Autor (2022).

11.1. RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO

Utilizando o software RiskOptmizer foi possível analisar os custos portuários e do navio em conjunto (Bacia Amazônica - Xangai), considerando apenas 1 berço de atracação, obtendo um valor de US\$ 16,81 para 1 berço de atracação, com a consignação do navio de 150.000 t, produtividade do berço de 2000 t/h e taxa de ocupação de 50% como mostra a Tabela 18 e Tabela 19.

Tabela 18 – Resultado da otimização a linha bacía Amazônica – Xangai.

	Trial	Result	C20	C22	C23
Best	84	16,8079	150000	2000	0,5000
Original	1	33,4129	70000	2000	0,8500
Last	1000	16,8079	149999,9860	1999,9999	0,5000

Fonte: Autor (2022).

Tabela 19 – Resultados após Otimização dos custos.

Produtividade efetiva anual do navio Linha: Bacía Amazônica - Xangai (t)	574.838,71
Perda de produtividade do navio na linha: Bacía Amazônica - Xangai	4%
Custo da frota de navio navegando por ano	132.935.440,00
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	133.118.177,50
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	16,81

Fonte: Autor (2022).

Utilizando o mesmo instrumento para achar os custos mínimos por tonelada da movimentação de grânéis agrícolas (Bacia Amazônica – Roterdã), a ferramenta computacional apresentou um resultado similar ao da rota de Xangai alterando somente o custo por tonelada transportada para US\$ 6,38 por tonelada como mostram as Tabela 20 e 21.

Tabela 20 – Resultado da otimização a linha Bacía Amazônica – Roterdã.

	Trial	Result	C20	C22	C23
Best	1	6,3850	150000	2000	0,5000
Original	1	6,3850	150000	2000	0,5000
Last	1000	6,3850	150000,0000	1999,9980	0,5000

Fonte: Autor (2022).

Tabela 21 – Resultados após Otimização dos custos.

Produtividade anual do navio Linha: Bacía Amazônica - Roterdã (t)	1.516.595,74
Perda de produtividade do navio na linha: Bacía Amazônica - Roterdã	10%
Custo da frota de navio navegando por ano (US\$)	50.386.820,00
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	50.569.557,50
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	6,39

Fonte: Autor (2022).

Ao obter-se o custo mínimo por tonelada nas rotas mencionadas, o modelo de otimização também informou a movimentação máxima anual de graneis agrícolas com resultado de 7.920.000,00 toneladas por ano, em uma otimização com 1 berço de atracação em 1 terminal.

Levando em consideração 2 berços de atracação, torna-se notório, através da Tabela 22, que o custo diminui aproximadamente 2,5%, ficando em US\$ 16,39 por tonelada na rota Bacia Amazônica – Xangai. A Tabela 24 apresenta os resultados para a rota Bacia Amazônica – Roterdã, onde verifica-se que o custo diminui aproximadamente 6,7%, ficando em U\$ 5,96 por tonelada. Pode-se observar também que a perda de produtividade diminui drasticamente utilizando 2 berços de atracação indo de 4% para 1% na linha de Xangai (comparando a Tabela 19 com a Tabela 23) e de 10% para 3% na linha de Roterdã (Comparando a Tabela 21 com a Tabela 25).

Tabela 22 – Resultado da otimização a linha Bacia Amazônica – Xangai.

	Trial	Result	C20	C22	C23
Best	136	16.3864	150000	2000	0.5000
Original	1	39.6923	70000	400	0.8500
Last	1000	16.5975	149216.63..	1961.3547	0.5936

Fonte: Autor (2022).

Tabela 23 – Resultados após Otimização dos custos – Xangai.

Produtividade efetiva anual do navio Linha:Bacia Amazônica- Xangai (t)	589,090.91
Perda de produtividade do navio na linha:Bacia Amazônica- Xangai	1%
Custo da frota de navio navegando por ano	259,438,520.00
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	259,560,345.00
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	16.39

Fonte: Autor (2022).

Tabela 24 – Resultado da otimização a linha bacia Amazônica – Roterdã.

	Trial	Result	C20	C22	C23
Best	76	5.9636	150000	2000	0.5000
Original	1	19.7594	70000	400	0.8500
Last	1000	5.9636	149999.80..	1999.9933	0.5000

Fonte: Autor (2022).

Tabela 25 – Resultados após Otimização dos custos – Roterdã.

Produtividade anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Roterdã (t)	1,620,000.00
Perda de produtividade do navio na linha: Bacia Amazônica - Roterdã	3%
Custo da frota de navio navegando por ano (US\$)	94,341,280.00
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	94,463,105.00
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	5.96

Fonte: Autor (2022).

Com a otimização dos custos das rotas de um terminal com 2 berços, a movimentação máxima de graneis agrícolas aumentou para 15.840.000,00 toneladas por ano como mostra a Tabela 26.

Tabela 26 – Resultado da Otimização com 2 berços.

Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Xangai sem tempo de espera	82.99
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Xangai com tempo de espera	84.03
Produtividade máxima anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Xangai (t)	596,485.36
Numero máximo de viagens por ano	3.98
Numero de viagens possíveis com o novo tempo de espera na fila	3.93
Produtividade efetiva anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Xangai (t)	589,090.91
Perda de produtividade do navio na linha: Bacia Amazônica - Xangai	1%
Custo da frota de navio navegando por ano	259,438,520.00
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	259,560,345.00
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	16.39
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Roterdã sem tempo de espera	29.51
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Roterdã com tempo de espera	30.56
Produtividade máxima anual do navio (%) Linha: Bacia Amazônica - Roterdã (t)	1,677,176.47
Numero maximo de viagens por ano	11.18
Numero de viagens possíveis com o novo tempo de espera na fila	10.80
Produtividade anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Roterdã (t)	1,620,000.00
Perda de produtividade do navio na linha: Bacia Amazônica - Roterdã	3%
Custo da frota de navio navegando por ano (US\$)	94,341,280.00
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	94,463,105.00
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	5.96
Custo do (s) berços de atracação	501,818,181.82
Fator de recuperação de capital (FRC) para vida útil de 30 anos e taxa de 12%aa	0.1241
Custo de capital anual de um berço de atracação	62,297,544.52
Custo por dia do berço	170,678.20
Custo operacional (US\$/t)	4.55
Custo de operação de um berço de atracação (US\$/navio)	681,818.18
Movimentação máxima de graneis agrícolas a partir da bacia amazonica	15,840,000.00

Fonte: Autor (2022).

Para otimizar a movimentação de graneis ao auge, a ferramenta de otimização achou uma movimentação máxima para um terminal com 2 berços de 26.928.000,00 toneladas. Conforme é apresentado na Tabela 27, a movimentação máxima só é alcançada com a taxa de ocupação no valor máximo de 85%, junto com a produtividade do berço (2000 t/h), com o número máximo de berços igual a 2. Neste caso, obteve-se para a consignação média o valor de 82.006 t. Observando a Tabela 28, o custo mínimo da rota de Xangai aumentou para U\$ 21,22 por tonelada e o custo da rota de Roterdã foi pra U\$ 8,42 por tonelada para se alcançar a movimentação máxima anual.

Tabela 27 – Resultado da otimização da Movimentação máxima por ano com 2 berços.

	Trial	Result	C20	C22	C23	C19
Best	112	2.6928E+0..	67353.4609	2000	0.8500	2
Original	1	2692800	70000	400	0.8500	1
Last	1000	2.6928E+0..	82008.6487	2000	0.8500	2

Fonte: Autor (2022).

Tabela 28 – Resultado da Otimização da movimentação com 2 berços.

Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Xangai sem tempo de espera	82.29
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Xangai com tempo de espera	88.62
Produtividade máxima anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Xangai (t)	468,072.19
Numero máximo de viagens por ano	4.01
Numero de viagens possíveis com o novo tempo de espera na fila	3.72
Produtividade efetiva anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Xangai (t)	434,633.04
Perda de produtividade do navio na linha: Bacia Amazônica - Xangai	7%
Custo da frota de navio navegando por ano	571,044,992.97
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	571,289,748.14
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	21.22
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Roterdã sem tempo de espera	28.82
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Roterdã com tempo de espera	35.15
Produtividade máxima anual do navio (%) Linha: Bacia Amazônica - Roterdã (t)	1,336,507.33
Numero maximo de viagens por ano	11.45
Numero de viagens possíveis com o novo tempo de espera na fila	9.39
Produtividade anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Roterdã (t)	1,095,785.00
Perda de produtividade do navio na linha: Bacia Amazônica - Roterdã	18%
Custo da frota de navio navegando por ano (US\$)	226,499,742.14
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	226,744,497.32
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	8.42
Custo do (s) berços de atracação	501,818,181.82
Fator de recuperação de capital (FRC) para vida útil de 30 anos e taxa de 12%aa	0.1241
Custo de capital anual de um berço de atracação	62,297,544.52
Custo por dia do berço	170,678.20
Custo operacional (US\$/t)	4.55
Custo de operação de um berço de atracação (US\$/navio)	530,564.77
Movimentação máxima de graneis agrícolas a partir da bacia amazonica	26,928,000.00

Fonte: Autor (2022).

Observando a Tabela 29, com apenas 1 berço de atracação, a movimentação máxima é dividida pela metade e observa-se um aumento significativo nos custos das rotas, não havendo alteração nos valores variáveis.

Tabela 29 – Resultado da Otimização da movimentação com 1 berço.

Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Xangai sem tempo de espera	81.26
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Xangai com tempo de espera	89.22
Produtividade máxima anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Xangai (t)	273,510.51
Numero máximo de viagens por ano	4.06
Numero de viagens possíveis com o novo tempo de espera na fila	3.70
Produtividade efetiva anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Xangai (t)	249,133.59
Perda de produtividade do navio na linha: Bacia Amazônica - Xangai	9%
Custo da frota de navio navegando por ano	463,512,966.62
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	463,756,093.82
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	34.44
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Roterdã sem tempo de espera	27.79
Dias de viagem redonda =>Linha: Bacia Amazônica - Roterdã com tempo de espera	35.74
Produtividade máxima anual do navio (%) Linha: Bacia Amazônica - Roterdã (t)	799,747.17
Numero máximo de viagens por ano	11.87
Numero de viagens possíveis com o novo tempo de espera na fila	9.23
Produtividade anual do navio Linha: Bacia Amazônica - Roterdã (t)	621,836.69
Perda de produtividade do navio na linha: Bacia Amazônica - Roterdã	22%
Custo da frota de navio navegando por ano (US\$)	185,702,535.11
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	185,945,662.31
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	13.81
Custo do (s) berços de atracação	250,909,090.91
Fator de recuperação de capital (FRC) para vida útil de 30 anos e taxa de 12%aa	0.1241
Custo de capital anual de um berço de atracação	31,148,772.26
Custo por dia do berço	85,339.10
Custo operacional (US\$/t)	4.55
Custo de operação de um berço de atracação (US\$/navio)	306,152.09
Movimentação máxima de graneis agrícolas a partir da bacia amazonica	13,464,000.00

Fonte: Autor (2022).

Com isto, foi feita uma otimização com a produção fixa do berço em 783 t/h (Tabela 30) referente aos dados atuais demonstrados na Tabela 16, onde a movimentação máxima de graneis obteve um resultado de 10.542.312,00 toneladas/ano para 1 terminal, havendo necessidade de 2 berços de atracação, com uma taxa de ocupação de 0,85 e uma consignação média de 101.050 toneladas.

Empregando a otimização, com a variável “produção” em 783 t/h, percebeu-se através da Tabela 31 que neste cenário a mudança da consignação média não afeta a movimentação máxima de graneis, porém aumenta o número de dias de serviço de carregamento e o tempo de espera da fila, diminuído drasticamente o número de navios por ano. Pode-se perceber que nesses 2 cenários a consignação média não afeta a movimentação anual do terminal, mas tem um grande impacto no custo e tempo.

Tabela 30 – Resultado da otimização da Movimentação máxima com Produção fixa de 783 t/h.

	Trial	Result	C20	C23	C19
Best	368	1.0542E+0..	101049.78..	0.8500	2
Original	1	5271156.0..	67353.4609	0.8500	1
Last	1000	1.0542E+0..	105738.36..	0.8500	2

Fonte: Autor (2022).

Tabela 31 – Resultado da Otimização da movimentação máxima com Produção fixa de 783 t/h.

Tempo de serviço (dias)	5.4
Tempo de espera na fila	14.0
Taxa de serviço (navios/dia)	0.19
Taxa média de chegadas (navios/dia)	0.32
Número de navios por ano	104
Movimentação anual de carga (t/ano)	10,542,312.00
Custo do navio no sistema portuario (US\$)	529,284.03
Dias de viagem redonda =>Linha:Baía Amazônica- Xangai sem tempo de espera	85.24
Dias de viagem redonda =>Linha:Baía Amazônica- Xangai com tempo de espera	99.24
Produtividade máxima anual do navio Linha:Baía Amazônica- Xangai (t)	391,213.75
Numero máximo de viagens por ano	3.87
Numero de viagens possíveis com o novo tempo de espera na fila	3.33
Produtividade efetiva anual do navio Linha:Baía Amazônica- Xangai (t)	336,022.48
Perda de produtividade do navio na linha:Baía Amazônica- Xangai	14%
Custo da frota de navio navegando por ano	282,794,432.47
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	283,323,716.50
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	26.87
Dias de viagem redonda =>Linha:Baía Amazônica- Roterdã sem tempo de espera	31.77
Dias de viagem redonda =>Linha:Baía Amazônica- Roterdã com tempo de espera	45.77
Produtividade máxima anual do navio (%) Linha:Baía Amazônica- Roterdã (t)	1,049,746.75
Numero máximo de viagens por ano	10.39
Numero de viagens possíveis com o novo tempo de espera na fila	7.21
Produtividade anual do navio Linha:Baía Amazônica- Roterdã (t)	728,621.51
Perda de produtividade do navio na linha:Baía Amazônica- Roterdã	31%
Custo da frota de navio navegando por ano (US\$)	130,417,899.93
Custo da frota de navio navegando mais o custo imobilizado nos portos por ano	130,947,183.96
Custo por tonelada transportada (US\$/t)	12.42
Custo do (s) berços de atracação	501,818,181.82
Fator de recuperação de capital (FRC) para vida útil de 30 anos e taxa de 12%aa	0.1241
Custo de capital anual de um berço de atracação	62,297,544.52
Custo por dia do berço	170,678.20
Custo operacional (US\$/t)	4.55
Custo de operação de um berço de atracação (US\$/navio)	459,317.21
Movimentação máxima de graneis agrícolas a partir da baía amazonica	10,542,312.00

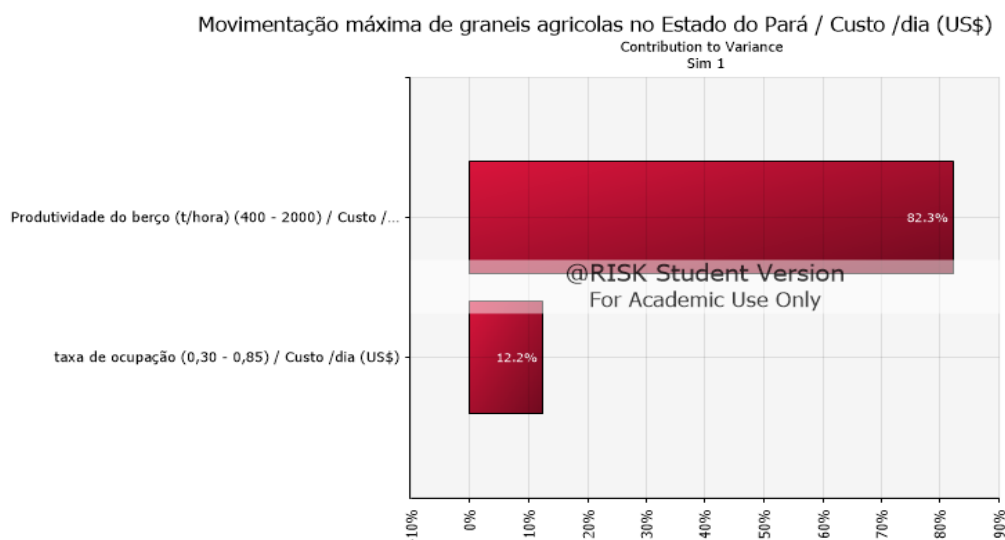
Fonte: Autor (2022).

11.2. RESULTADOS DA ANÁLISE DE RISCO

Tendo em vista as otimizações feitas anteriormente, pôde-se observar que para obtenção de um custo mínimo por tonelada transportada a consignação média fica no máximo, em conjunto com a produtividade do berço, porém a taxa de ocupação fica no valor mínimo. Para se obter uma movimentação anual máxima de graneis agrícolas observou-se que a consignação media não influencia no resultado final e a produtividade fica no máximo estabelecido junto com a taxa de ocupação.

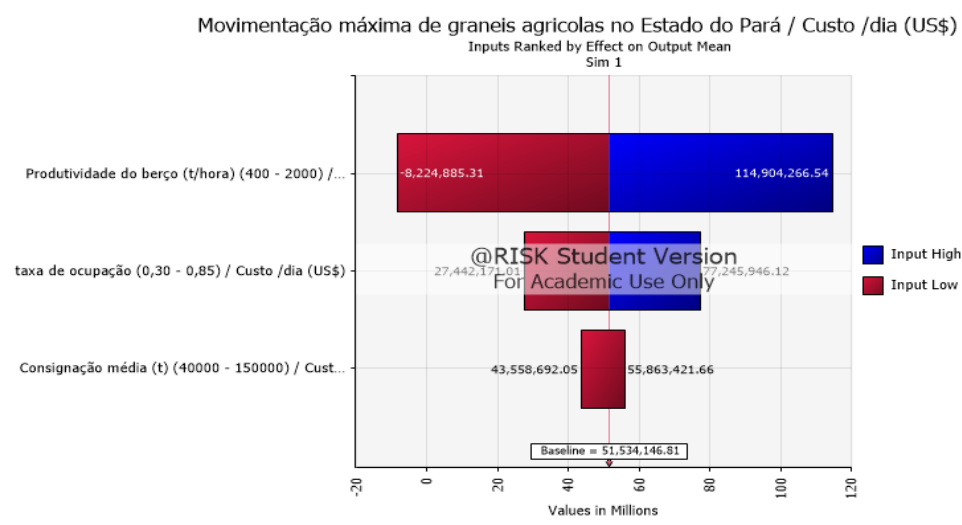
O Gráfico 12 confirma que as variáveis que mais tem impacto no valor da movimentação máxima são: a produtividade do berço com 82,3%, a taxa de ocupação impactando com 12,2% e 5,5% para a consignação média. Já o Gráfico 13 mostra o impacto das variáveis na média da movimentação.

Gráfico 12 – Gráfico de tornado das variáveis da movimentação de graneis agrícolas.



Fonte: Autor (2022).

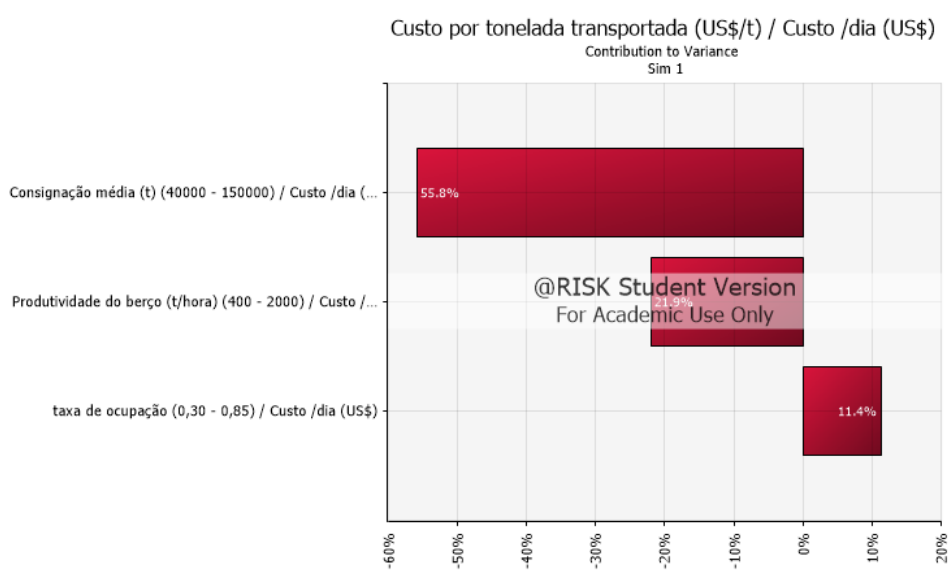
Gráfico 13 – Gráfico de tornado das variáveis da movimentação de graneis agrícolas.



Fonte: Autor (2022).

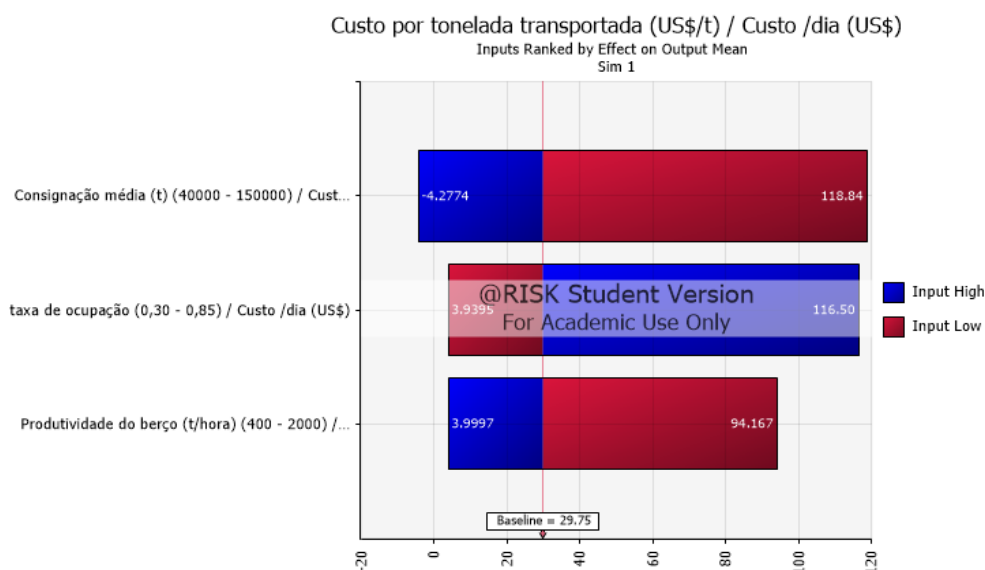
Os Gráficos 14 e 15 confirmam que para o custo por tonelada transportada a consignação média é a variável que mais tem impacto no resultado, com 55,8%, seguindo da taxa de ocupação com 21,9% e da produtividade do berço com 11,4%.

Gráfico 14 – Gráfico de tornado das variáveis que influenciam.



Fonte: Autor (2022).

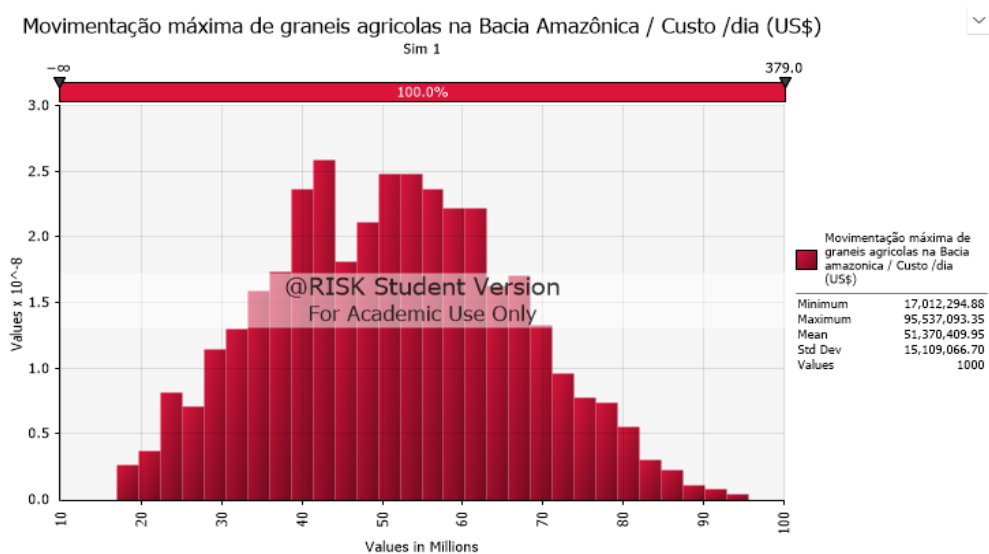
Gráfico 15 – Gráfico de tornado das variáveis que influenciam.



Fonte: Autor (2022).

O Gráfico 16, de distribuição, gerado pelo @Risk, mostra que com os inputs mencionados anteriormente, a movimentação de cargas possui a probabilidade de ficar com valores positivos em 100%, sendo assim, com os limites variáveis estabelecidos, ela possui uma grande probabilidade destes terminais terem uma boa movimentação de cargas com o valor máximo de produtividade. Com esses dados o @Risk mostra, no gráfico, que é possível movimentar um máximo de 95.537.093,35 toneladas por ano, mas a probabilidade de isto acontecer é de apenas 0,1%.

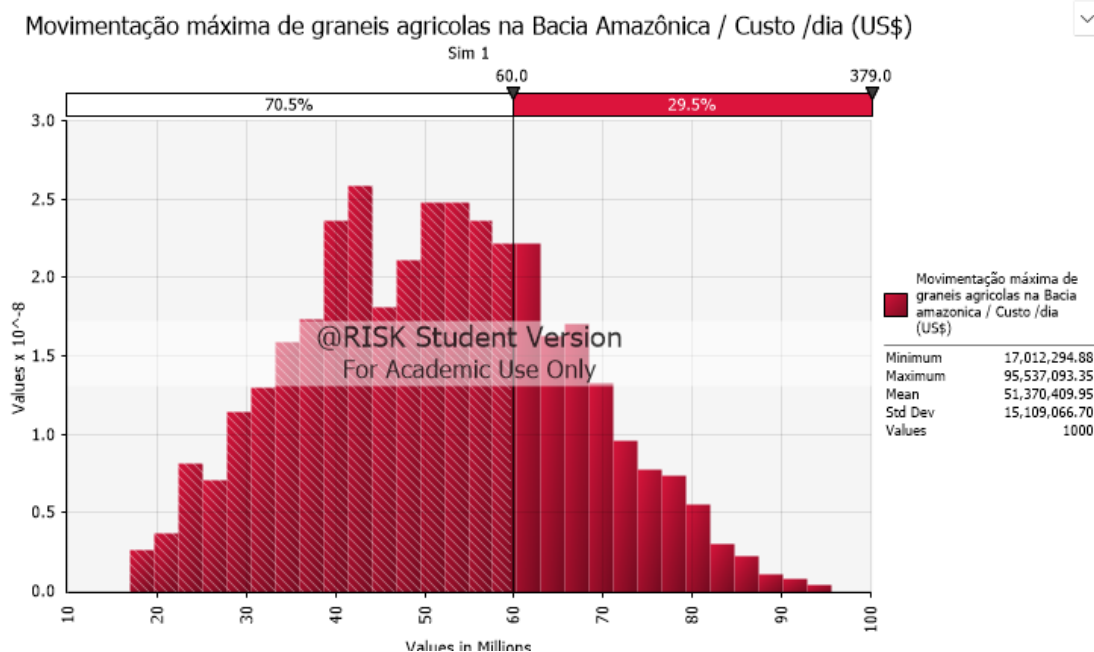
Gráfico 16 – Gráfico de Distribuição da movimentação anual.



Fonte: Autor (2022).

Para 2030 se tem uma estimativa de demanda de 60 milhões de toneladas anuais. Considerando os oito terminais com um berço de atracação, estes possuem 29,5% de chance de alcançar esta meta, conforme verificado no Gráfico 17.

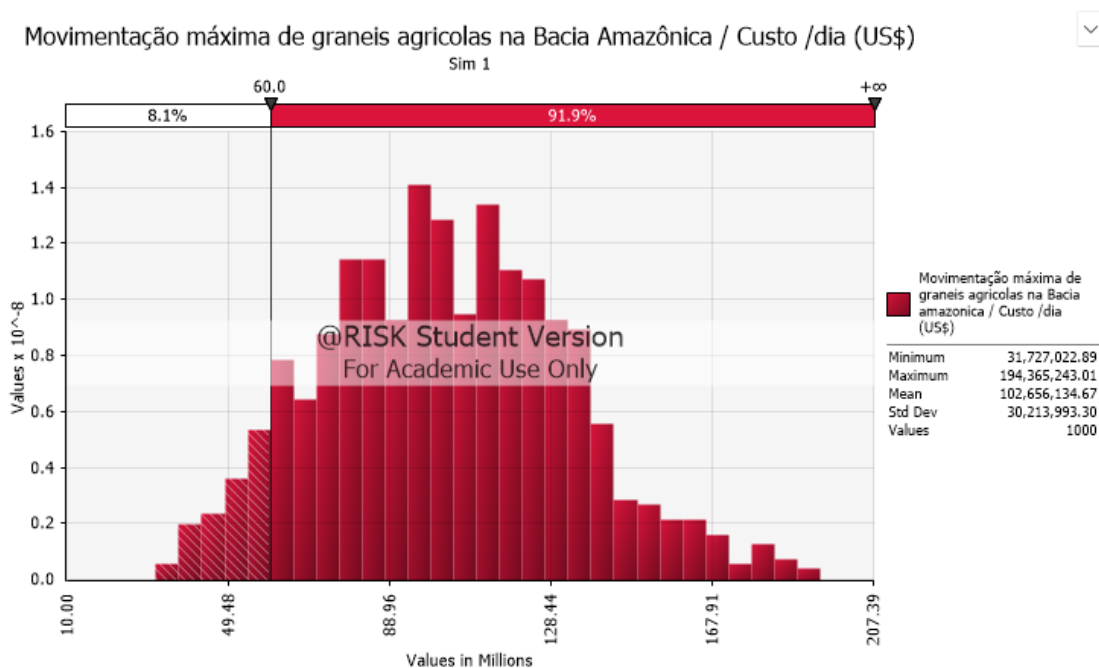
Gráfico 17 – Gráfico de Distribuição da Movimentação anual considerando a meta para 2030.



Fonte: Autor (2022).

Considerando-se 2 berços de atracação, o Gráfico 18 mostra que, nesta condição, os terminais possuem 91,9% de chance de atingir a meta ou até superá-la, possuindo uma movimentação máxima de até 194.365.243,01 toneladas por ano, porém com uma probabilidade de 0,1% de atingir este valor.

Gráfico 18 – Gráfico de Distribuição da Movimentação anual considerando a meta para 2030.



Fonte: Autor (2022).

12. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os desafios da logística global da soja em grão são muitos, principalmente em se tratando de uma commodity, que é perecível e tem baixo valor agregado. Apesar dos intensos esforços governamentais feitos nos últimos anos, visando à modernização do setor de infraestrutura logística, observa-se que ainda existem dificuldades para a implantação de serviços de logística com padrões internacionais de qualidade e de confiabilidade. A resolução dos principais problemas logísticos no país aumentará a competitividade internacional brasileira, aumentando a confiabilidade nos tempos de entrega e reduzindo os custos das ineficiências no processo de exportação.

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise da capacidade portuária dos terminais da bacia Amazônica e dos custos do transporte de grãos integrado com o custo portuário, bem como analisar o risco de os terminais não alcançarem as demandas futuras. O primeiro passo foi identificar os terminais portuários para exportação de grãos sólidos agrícolas e coletar dados para análise, sendo observado uma existência de oito terminais, de onde foi possível obter informações necessárias para limitar os dados variáveis. Desta forma, foi possível desenvolver um modelo de risco a partir dos dados coletados, baseado na teoria de filas, que foram de grande importância para o desenvolvimento. Com os dados obtidos e inseridos no modelo de risco, foi possível realizar a otimização e análise de risco através do software @RISK e avaliar os cenários para alcançar a melhor alternativa com a otimização ao se encontrar o menor custo por tonelada transportada para Xangai e Roterdã, junto com a maior movimentação possível dos terminais, logo sendo integrado com a análise de risco, de forma a entender qual a melhor alternativa para que os terminais consigam alcançar a demanda estimada de 2030.

Com os resultados das otimizações de custo, pode-se observar que com 2 berços de atracação o custo por tonelada de cada rota diminui pouco, mas a movimentação duplica, comparado com um terminal de somente 1 berço de atracação, o que é evidenciado na Tabela 32.

Otimizando a movimentação anual para se alcançar o máximo, é possível observar que neste cenário, resumido na Tabela 32, novamente um terminal com 2 berços movimenta o dobro de um terminal com 1 berço e que, neste caso, a diferença

de custo do terminal com maior número de berço em relação ao de um berço é bem significativa, sendo de um total de US\$ 13,22 do transporte da bacia Amazônica ate Xangai e de US\$ 5,39 da bacia Amazônica até Roterdã.

Considerando a produtividade do cenário atual e otimizando os outros valores, observou-se que o melhor cenário alcançado é um terminal com 2 berços onde os custos ficaram US\$ 26,87 na rota de Xangai e US\$ 12,42 na rota de Roterdã. Se comparado com a situação atual onde temos terminais com somente 1 berço de atracação com custos de US\$ 34,47 para a rota de Xangai e US\$ 14,54 para a rota de Roterdã, pode-se notar, através da Tabela 32, a diferença ocasionada com a construção de um segundo berço no que diz respeito aos custos de transportes e na movimentação do terminal.

Tabela 32 – Resumo das otimizações feitas para cada cenário.

Resumo		
Descrição	Berços	Resultado
Otimização do custo		
Menor custo Bacia Amazônica - Xangai	1	\$ 16.81
Menor custo Bacia Amazônica - Roterdã	1	\$ 6.39
Movimentação = 7920000 T/ano		
Considerando 8 terminais a movimentação =		63.360.000,00
Menor custo Bacia Amazônica - Xangai	2	\$ 16.39
Menor custo Bacia Amazônica - Roterdã	2	\$ 5.96
Movimentação = 15840000 T/ano		
Considerando 8 terminais a movimentação =		126.720.000,00
Otimização da movimentação anual		
Menor custo Bacia Amazônica - Xangai	2	\$ 21.22
Menor custo Bacia Amazônica - Roterdã	2	\$ 8.42
Movimentação = 26928000 T/ano		
Considerando 8 terminais a movimentação =		215.424.000,00
Menor custo Bacia Amazônica - Xangai	1	\$ 34.44
Menor custo Bacia Amazônica - Roterdã	1	\$ 13.81
Movimentação = 13464000 T/ano		
Considerando 8 terminais a movimentação =		107.712.000,00
Otimização travando a produtividade em 783 t/h		
Menor custo Bacia Amazônica - Xangai	2	\$ 26.87
Menor custo Bacia Amazônica - Roterdã	2	\$ 12.42
Movimentação = 10542312 T/ano		
Considerando 8 terminais a movimentação =		84.338.496,00
Situação atual		
Menor custo Bacia Amazônica - Xangai	1	\$ 34.47
Menor custo Bacia Amazônica - Roterdã	1	\$ 14.54
Movimentação = 4340952 T/ano		
Considerando 8 terminais a movimentação =		34.727.616,00

Fonte: Autor (2022).

Com a análise de risco feita, o @Risk gerou gráficos de tornado, como o Gráfico 12, onde pôde-se perceber que a consignação média não possui um grande impacto no resultado da movimentação máxima, sendo a produtividade do berço a variável de maior risco no resultado da movimentação. Já no Gráfico 13 observou-se que a consignação média do navio tem grande impacto no resultado do custo de transporte, sendo a variável de maior risco para o custo.

Com os gráficos de distribuição gerados pelo @Risk sobre a Movimentação anual, pode-se concluir que se os terminais permanecerem com somente 1 berço de atracação. Logo, juntos não alcançarão a estimativa feita para 2030, concluindo que os terminais portuários da bacia Amazônica ainda não estão preparados para atender o crescimento das demandas de escoamento de grãos no futuro. Porém se houver um investimento para a construção de um segundo berço de atracação nestes terminais neste período, elevará drasticamente as chances de atingir a movimentação estimada para o ano. Sabendo-se que a produtividade do berço é um fator de grande impacto na movimentação, conclui-se que outra alternativa seria aumentar as atuais produtividades destes, sendo possível chegar mais próximo da meta estabelecida para 2030.

Visto que todos os objetivos propostos para este trabalho foram alcançados e tendo em vista que se pode alterar os valores do modelo para se obter diversos resultados para cenários diferentes, é possível observar o pior e o melhor cenário, além de demonstrar os eventuais riscos e seu grau de importância.

13. REFERÊNCIAS

- ADLER, Hans A. **AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETOS DE TRANSPORTES: METODOLOGIA E EXEMPLOS**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978.
- ALVES, Carlos Frederico; BUSS, Thiago. **VAMOS PRECISAR DE UM NAVIO MAIOR**. São Paulo: O Estado de S. Paulo, 16 out. 2021. Disponível em: <https://opinioao.estadao.com.br/noticias/espaco-aberto,vamos-precisar-de-um-navio-maior,70003868676>. Acesso em: 25 nov. 2021.
- ALYAMI, Hani et al. **AN ADVANCED RISK ANALYSIS APPROACH FOR CONTAINER PORT SAFETY EVALUATION**. Maritime Policy & Management. Liverpool, p. 634-650. 27 nov. 2014.
- ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. **ESTATÍSTICO AQUAVIÁRIO**. Brasília: ANTAQ, 2021. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Anuario/>. Acesso em: 20 nov. 2021.
- ASPEREN, E. V., DEKKER, R., POLMAN, M. E ARONS, H. S.: **ALLOCATION OF SHIPS IN A PORT SIMULATION**. Proceedings of the 15th European Simulation Symposium ISBN: 3-936150-29-X,2003.
- ÁVILA, Rafael. Simulação de Monte Carlo. **QLUZ: Planilhas Empresariais**, 2015.
- BRASIL. **SECRETARIA NACIONAL DE PORTOS E TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS DO MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA (SNPTA/MINFRA)**. PNLP 2019: Diagnóstico. Florianópolis: Labtrans/UFSC, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-conteudo/2-09-pdf>. Acesso em: 28 set. 2021.
- CASACA, A. C. P. 2005: **SIMULATION AND THE LEAN PORT ENVIRONMENT**. Maritime Economics & Logistics v. 7: p. 262-280.
- COTTERELL, Steve. @RISK Professional. **PROJECT MANAGER TODAY**. UK. Jun 2016.
- DRAGOVIC, B., PARK, N. K., RADMILOVIC, Z. and MARAS, V. **SIMULATION MODELLING OF SHIP-BERTH LINK WITH PRIORITY SERVICE**. Maritime Economics & Logistics Vol.7 p.316-355, 2005.
- FLOR, Aguinaldo Júnio. **ANÁLISE DO RISCO FINANCEIRO EM PROJETOS DA INDÚSTRIA NAVAL A PARTIR DE MODELOS BASEADOS EM SIMULAÇÃO DE**

MONTE CARLO. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

GABRIEL FILHO, Luís Roberto Almeida; CREMASCO, Camila Pires; SOUZA, Rodrigo de Oliveira. **ANÁLISE ESTATÍSTICA DA MOVIMENTAÇÃO NO PORTO DE PRESIDENTE EPITÁCIO**. Unoeste, Presidente Prudente, v. 1, n. 1, p. 56-63, 12 ago. 2010.

GOERLANDT, Floris; MONTEWKA, Jakub. **MARITIME TRANSPORTATION RISK ANALYSIS: REVIEW AND ANALYSIS IN LIGHT OF SOME FOUNDATIONAL ISSUES**. In: GOERLANDT, Floris; MONTEWKA, Jakub. **RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. p. 115-134.

Hacura, A., Jadamus-Hacura, M. & Kocot, A. **RISK ANALYSIS IN INVESTMENT APPRAISAL BASED ON THE MONTE CARLO SIMULATION TECHNIQUE**. *Eur. Phys. J. B* **20**, 551–553 (2001). <https://doi.org/10.1007/s100510170238>

HIJJAR, M. F. **LOGÍSTICA, SOJA E COMÉRCIO INTERNACIONAL**, 2004. Disponível em <http://www.cel.coppead.ufrj.br>. Acesso em: 10 de agosto de 2021.

KAKIMOTO, Ryuji; SENEVIRATNE, Prianka N. **INVESTMENT RISK ANALYSIS IN PORT INFRASTRUCTURE APPRAISAL**. *Journal Of Infrastructure Systems*. Reston, p. 30-32. 01 dez. 2000.

KAKIMOTO, Ryuji; SENEVIRATNE, Prianka N.. **FINANCIAL RISK OF PORT INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT**. *Journal Of Infrastructure Systems*. Reston, p. 33-35. 01 dez. 2000.

LEÓN, Alan Dávila de *et al.* A simulation–optimization framework for enhancing robustness in bulk berth scheduling. **ENGINEERING APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE**, [S.L.], v. 103, p. 104276, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104276>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197621001238>. Acesso em: 30 dez. 2021.

MAN ENERGY SOLUTIONS. **PROPULSION TRENDS IN BULK CARRIERS**. Set. 2019. Disponível em: <https://www.man-es.com/docs/default-source/marine/tools/propulsion-trends-in-bulk-carriers.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2021.

MORAES NETO, Luciano Pinto de; MORAES, Rita de Cassia Monteiro de; MORAES, Hito Braga de. **PROPOSTA DE UM TERMINAL OFFSHORE MULTIUSO DE ÚLTIMA GERAÇÃO**. 2017.

PALISADE. **@RISK PARA GERENCIAMENTO DE PROJETOS**. Disponível em: <https://www.palisade-br.com/projectriskmanagement/>. Acesso em: 23 maio 2020

PAROLA, F. e SCIOMACHEN, A.. 2005: **INTERMODAL CONTAINER FLOWS IN A PORT SYSTEM NETWORK: ANALYSIS OF POSSIBLE GROWTHS VIA SIMULATION MODELS**. *International Journal of Production Economics* 97: 75-88.

PÉRA, T. G., BARTHOLOMEU, D. B., Su, C. T., & Caixeta Filho, J. V. (2019). **EVALUATION OF GREEN TRANSPORT CORRIDORS OF BRAZILIAN SOYBEAN EXPORTS TO CHINA**. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, v. 16, p. 398-412, 2019. <https://doi.org/10.14488/BJOPM.2019.v16.n3.a4>

SALIN, D. **BRAZIL SOYBEAN TRANSPORTATION**. Estados Unidos: U.S. Department of Agriculture. March 2021. Disponível em: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Brazil2020Overview.pdf>. Acesso em: 9 jul. 2021.

SANTOS, João Almeida; SANTOS, Eduardo Biagi Almeida. **AS DIFICULDADES LOGISTICAS DE ACESSO E DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS DO PORTO DE SANTOS**. 2012. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos12/34716318.pdf>. Acesso em: 23 maio 2020.

SOARES, Leonardo Sousahacura. 2017. 105 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Oceânica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/> Acesso em: 23 maio 2020.

VOSE, David. **MONTE CARLO RISK ANALYSIS MODELING**. In: MOLAK, Vlasta. *Fundamentals of Risk Analysis and Risk Management*. New York: Crc Press, 1997. p. 1-451.

APÊNDICES

APÊNDICE A – FLUXOGRAMA

