

ERICK SEIJI FUGIWARA

**UTILIZAÇÃO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO PARA O
DIMENSIONAMENTO DE UM TERMINAL PORTUÁRIO
MULTIPRODUTO**

Versão Original

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

São Paulo

2023

ERICK SEIJI FUGIWARA

**UTILIZAÇÃO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO PARA O
DIMENSIONAMENTO DE UM TERMINAL PORTUÁRIO
MULTIPRODUTO**

Versão Original

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

Área de Concentração:
Engenharia de Sistemas Logísticos

Orientador:
Prof. Dr. Daniel de Oliveira Mota

São Paulo

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Fugiwara, Erick Seiji

Utilização de um modelo de simulação para o dimensionamento de um terminal portuário multiproduto. São Paulo, 2023. 141p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1.Simulação de Sistemas. 2.Planejamento da produção. 3.Logística.
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Computação e Sistemas Digitais.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho não teria sido possível se não fosse por diversas pessoas, mas agradeço primeiramente à Deus que me deu forças em inúmeros momentos de dificuldade. Também sou grato ao meu orientador pelo imenso conhecimento, incentivo e orientação fornecida ao longo desses anos, além de muita paciência desde que o conheci em 2017. Agradeço ao CILIP pelo conhecimento que até hoje venho adquirindo, em especial ao professor Dr. Rui Carlos Botter que me acolheu de forma incrível desde o início do programa e da minha colaboração nos projetos do laboratório. Muito grato aos colegas que passaram pelo laboratório com quem aprendi muito, não podendo deixar de citar o John Santos Hough, professor Dr. João Ferreira Netto, além de outros professores com quem tive aulas durante o programa e que somaram no meu crescimento. Gratidão ao futuro mestre Matheus Lodi Oliveira, grande colega no CILIP, quem ajudou e ajuda diariamente encarando os desafios de várias naturezas com seu ponto de vista e experiência. Por fim, não posso deixar de agradecer eternamente à minha família que sempre me apoiou e incentivou desde que tomei a decisão de iniciar o mestrado em um momento complicado em que me encontrava.

RESUMO

A globalização tem como um dos aspectos mais relevantes a competição entre empresas e países, no qual, terminais portuários possuem um papel de destaque em relação a produtividade, tanto na importação quanto exportação. Conforme as economias se desenvolvem e alterações nas rotas comerciais ocorrem, os portos são desafiados quanto a sua capacidade de desenvolvimento a longo prazo, adequando sua capacidade operacional. Esse cenário de competitividade, exige muitas vezes o investimento em infraestrutura portuária, que é essencial para manter de forma eficiente a capacidade portuária em atender à demanda esperada para todos os tipos de carga. Porém, os custos envolvidos nesses investimentos são elevados em ativos de infraestrutura de longo prazo e devem ser feitos apesar de uma variedade de incertezas futuras que podem potencialmente influenciar o desempenho de um porto. Seria benéfico se a equipe envolvida no projeto pudesse obter uma visão rápida das características exigidas dos principais componentes do terminal com base em demandas e possibilidades, sem a necessidade de realizar muitos cálculos ou desenvolver um novo modelo de cálculo para cada novo projeto. Além disso, existem alguns aspectos que não podem ser facilmente avaliados usando métodos convencionais. Uma visão adicional poderia ser alcançada com a ajuda de uma ferramenta de suporte ao projeto. O objetivo desta dissertação é desenvolver uma ferramenta de suporte ao projeto que possa ser utilizada durante o projeto conceitual de um novo terminal a granel seco ou de um já existente. A ferramenta é composta por uma *interface*, desenvolvida em Microsoft Excel, e pelo modelo integrado (sistema marítimo, de estocagem e de transporte terrestre) de simulação em Anylogic. O modelo é alimentado pelas informações contidas na *interface*, onde todas as características relevantes são definidas através de diversas variáveis. Ele deve dar uma melhor compreensão nas diferentes opções que podem ser escolhidas e devem ser capazes de criar um modelo terminal com base nos parâmetros-chave fornecidos pela entrada do usuário. Ao utilizar um porto multiproduto brasileiro como estudo de caso, esta dissertação aprimora o processo de tomada de decisão de investimento para a infraestrutura portuária através da aplicação bem-sucedida da metodologia para o

desenvolvimento de uma ferramenta de auxílio na seleção de uma estratégia de investimento ideal para lidar com as restrições de capacidade dentro de um sistema portuário.

Palavras-chave: Simulação. Terminal portuário. Sistema integrado.

ABSTRACT

Globalization has as one of the most relevant aspects the competition between companies and countries, in which port terminals have a prominent role in relation to productivity, both in import and export. As economies develop and trade route changes occur, ports are challenged as to their long-term development capacity, adapting their operational capacity. This competitiveness scenario often requires investment in port infrastructure, which is essential to efficiently maintain port capacity in meeting the expected demand for all types of cargo. However, the costs involved in these investments are high in long-term infrastructure assets and should be made despite a variety of future uncertainties that could potentially influence the performance of a port. It would be beneficial if the team involved in the project could get a quick view of the required characteristics of the main terminal components based on demands and possibilities, without the need to perform many calculations or develop a new calculation model for each new project. In addition, there are some aspects that cannot be easily evaluated using conventional methods. An additional view could be achieved with the help of a project support tool. The purpose of this thesis is to develop a project support tool that can be used during the conceptual design of a new dry bulk terminal or an existing one. The tool is composed of an interface developed in Microsoft Excel, and the integrated model (marine system, storage and land transport) simulation in Anylogic. The model is fed by the information contained in the interface, where all relevant characteristics are defined through several variables. It should give a better understanding of the different options that can be chosen and should be able to create a terminal model based on the key parameters provided by user input. By using a Brazilian multiproduct port as a case study, this thesis improves the investment decision-making process for port infrastructure through the successful application of the methodology for the development of an aid tool in the selection of an ideal investment strategy to deal with capacity constraints within a port system.

Keywords: Simulation. Port terminal. Integrated model.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas do transporte de produtos.....	20
Figura 2 - Processos em um terminal portuário a granel	28
Figura 3 - Esquema de um sistema de recurso único	37
Figura 4 - Passos típicos no estudo através da simulação	43
Figura 5 - Planejamento da capacidade de um terminal portuário.....	51
Figura 6 - Representação de um terminal portuário integrado.....	53
Figura 7 - Visão superior do terminal	55
Figura 8 - Chegada de navios no Anylogic.....	56
Figura 9 - Linha de tempo do navio	58
Figura 10 – Operações e restrições dos navios no Anylogic	58
Figura 11 - Geração de caminhões no Anylogic.....	60
Figura 12 - Operações dos caminhões dentro do terminal no Anylogic	60
Figura 13 - Operações ferroviárias no Anylogic.....	62
Figura 14 - Evolução da demanda mensal	65
Figura 15 - Validação (Tempo médio de espera dos navios).....	69
Figura 16 - Validação (Tempo médio de ciclo dos caminhões).....	70
Figura 17 - Principais indicadores das configurações definidas (2023 - 2029)	104
Figura 18 - Atendimento da demanda com a sazonalidade de grãos (2029)	107
Figura 19 - Atendimento da demanda sem a sazonalidade dos grãos (2029)	108
Figura 20 - Gráfico comparativo dos grupos de cenários (análise de sensibilidade).....	111
Figura 21 - <i>Interface</i> (Menu).....	119
Figura 22 - <i>Interface</i> (Entrada de dados)	120
Figura 23 - <i>Interface</i> (Cais).....	120
Figura 24 - <i>Interface</i> (Demanda).....	121
Figura 25 - <i>Interface</i> (Demanda Sazonal)	121
Figura 26 - <i>Interface</i> (Sazonalidade).....	122
Figura 27 - <i>Interface</i> (Caminhões).....	122
Figura 28 - <i>Interface</i> (Trens).....	123
Figura 29 - <i>Interface</i> (Armazenagem).....	123
Figura 30 - <i>Interface</i> (Resultados Brutos).....	124
Figura 31 - <i>Interface</i> (Resultados Cenários)	124
Figura 32 - <i>Interface</i> (log_navios)	125
Figura 33 - <i>Interface</i> (log_caminhoes).....	126
Figura 34 - <i>Interface</i> (log_trens)	126
Figura 35 - <i>Interface</i> (log_resultados).....	127
Figura 36 - <i>Interface</i> (Resultados)	128
Figura 37 - Dados.csv	129
Figura 38 - Navios.csv	129
Figura 39 - Caminhoes.csv.....	130
Figura 40 - Trens.csv.....	131
Figura 41 - log_caminhoes.csv	131
Figura 42 - log_navios.csv	132
Figura 43 - log_trens.csv.....	132

Figura 44 - log_resultados.csv	133
--------------------------------------	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de cargas (mtpa)	64
Tabela 2 – Distribuição da safra de grãos em função da sazonalidade.....	64
Tabela 3 - Distribuição da frota de navios	66
Tabela 4 - Principais resultados do cenário base (2023 – 2025).....	73
Tabela 5 - Principais resultados do cenário base (2023 – 2025).....	74
Tabela 6 - Principais resultados do cenário base (2023 – 2025).....	75
Tabela 7 - Principais resultados do cenário base (2023 – 2025).....	76
Tabela 8 - Principais resultados do cenário base (2023 – 2025).....	77
Tabela 9 - Principais resultados do cenário base (2023 – 2025).....	78
Tabela 10 - Principais resultados do cenário base (2023 – 2025).....	79
Tabela 11 - Inclusão do 4º silo de armazenagem ou 3º tombador (2024).....	81
Tabela 12 - Inclusão do 4º silo de armazenagem ou 3º tombador (2024).....	82
Tabela 13 - Inclusão do 4º silo de armazenagem ou 3º tombador (2024).....	83
Tabela 14 - Inclusão do 4º silo e 3º tombador (2025).....	84
Tabela 15 - Inclusão do 4º silo e 3º tombador (2025).....	85
Tabela 16 - Melhorias nos CN's, recepção e atendimento rodoviário (2025)	86
Tabela 17 - Melhorias nos CN's, recepção e atendimento rodoviário (2025)	87
Tabela 18 - Melhorias nos CN's, recepção e atendimento rodoviário (2025) (cont.)	88
Tabela 19 - Melhorias nos CN's, recepção e atendimento rodoviário (2025) (cont.)	89
Tabela 20 - Melhorias nos CN's, recepção e atendimento rodoviário (2025) (cont.)	90
Tabela 21 - Nova operação ferroviária, infraestrutura e taxas dos CN's (2026).....	91
Tabela 22 - Nova operação ferroviária, infraestrutura e taxas dos CN's (2026).....	92
Tabela 23 - Nova operação ferroviária, infraestrutura e taxas dos CN's (2026).....	93
Tabela 24 - Inclusão da 4º ou 5º moega e alteração da taxa dos CN's (2027)	94
Tabela 25 - Inclusão da 4º ou 5º moega e alteração da taxa dos CN's (2027)	95
Tabela 26 - Inclusão da 4º ou 5º moega e alteração da taxa dos CN's (2027)	96
Tabela 27 - Inclusão da 4º ou 5º moega e alteração da taxa dos CN's (2027)	97
Tabela 28 - Inclusão da 4º ou 5º moega e alteração da taxa dos CN's (2027)	98
Tabela 29 - Alteração da produtividade dos CN's (2028).....	99
Tabela 30 - Alteração da produtividade dos CN's (2028).....	100
Tabela 31 - Alteração da produtividade dos CN's (2028).....	101
Tabela 32 - Alteração da produtividade dos CN's (2029).....	102
Tabela 33 - Alteração da produtividade dos CN's (2029).....	103
Tabela 34 - Análise do impacto da sazonalidade dos grãos (2029)	105
Tabela 35 - Análise do impacto da sazonalidade dos grãos (2029)	106
Tabela 36 - Grupos e cenários simulados	109
Tabela 37 - Configuração mínima e alterações (2023 - 2029).....	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD *Computer Aided Design*

CEMA *Conveyor Equipment Manufacturers Association*

CILIP *Centro de Inovação em Logística e Infraestrutura Portuária*

CNT *Confederação Nacional do Transporte*

CSV *Comma-Separated-Values*

DWT *Deadweight Tonnage*

FIFO *First In First Out*

HC *High Cube*

HR *Horas*

MBA *Modelagem Baseada em Agentes*

MIN *Minutos*

MTPA *Milhões de Toneladas por Ano*

NOR *Notice of Readiness*

PO *Pesquisa Operacional*

RO *RO Roll-on / Roll-off*

TNPA *Transnet National Ports Authority*

TON *Toneladas*

TPH *Toneladas por hora*

UNCTAD *United Nations Conference on Trade and Development*

VBA *Virtual Basic for Applications*

VGA *Veículos Guiados Automaticamente*

VLOC *Very Large Ore Carrier*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	13
1.2 JUSTIFICATIVA	13
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 TERMINAL PORTUÁRIO	16
2.1 O QUE É UM PORTO?	16
2.2 VARIÁVEIS A SEREM CONSIDERADAS NO DESENVOLVIMENTO DE UM TERMINAL PORTUÁRIO	17
2.3 CARACTERÍSTICAS DE UM PORTO	18
2.3.1 Infraestrutura	22
2.3.2 Operação	27
2.4 NAVIOS	29
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	32
3.1 PESQUISA OPERACIONAL	32
3.2 SIMULAÇÃO	33
3.2.1 Tipos de Simulação	36
3.2.2 Vantagens e desvantagens do uso da simulação	38
3.2.3 Desenvolvimento de um estudo através da simulação	41
3.2.4 Estudo de simulação	43
3.3 SOFTWARE ANYLOGIC	45
3.4 ESTUDOS DE CAPACIDADE	46
3.4.1 Modelo conceitual de um <i>framework</i> do planejamento da capacidade de um porto	48
4 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMILAÇÃO	52
4.1 TERMINAL PORTUÁRIO EM ESTUDO	52
4.2 MODELO CONCEITUAL	53
4.3 PREMISSAS	62
4.4 LIMITAÇÕES DO MODELO	63
4.5 DADOS DE ENTRADA	63
5 CENÁRIOS	67

5.1 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO	68
5.2 CENÁRIO BASE	70
5.3 CENÁRIOS ALTERNATIVOS	71
6 RESULTADOS	73
7 CONCLUSÕES	113
7.1 TRABALHOS FUTUROS	116
APÊNDICE A - INTERFACE PARA DADOS DE ENTRADA E RESULTADOS	118
A.1 Descrição básica da <i>Interface</i> do modelo.....	118
A.2 Visão geral da <i>interface</i>	118
A.3 Resumo da <i>interface</i>	119
A.3.1 Interface.....	119
A.3.2 Fluxo de dados	128
A.3.3 Níveis de Acesso do Usuário.....	133
LISTA DE REFERÊNCIAS	134

1 INTRODUÇÃO

A rede marítima mundial que é composta por milhares de navios navegando pelos mares e portos estrategicamente localizados ao redor do mundo, é essencial para o comércio internacional, uma vez que mais de 80% do volume de mercadorias comercializadas mundialmente é transportado pelo mar (UNCTAD, 2017). Carga marítima de todos os tipos (produtos containerizados desde produtos mais simples como vestuários até os com mais valor agregado como eletrônicos; carga líquida como óleos vegetais e petróleo; carga a granel seca como minérios de ferro e grãos, assim como sucata, vergalhões e chapas) tem origem em um país para exportação, passando por portos antes de chegar ao seu destino. Um sistema portuário é um conjunto de elementos que conectam o mar e a terra para trabalharem juntos e assim movimentar as cargas, que chegam pelos navios na ancoragem e é transferido para o terminal portuário nos berços do porto, assim transportado por ligações intermodais (por exemplo, redes ferroviárias e/ou rodoviárias) para a demanda do consumidor/população. Conforme a economia se desenvolve, rotas comerciais e demandas mudam, o sistema portuário pode precisar se expandir para aumentar sua capacidade e atender ao novo cenário. Porém, o capital requerido para alteração da infraestrutura portuária é enorme e as decisões de investimento devem ser tomadas levando em conta várias incertezas e cenários durante a longa vida útil desses ativos.

Na fase inicial de projeto, menos dados estão disponíveis e vários cenários devem ser analisados. Definir as dimensões principais do terminal necessários para as diversas possibilidades é um processo complexo, uma vez que envolve diversos fatores. Por exemplo, tipos de embarcações, características de tráfego, diversos processos operacionais, além de condições climáticas como chuva, maré etc. Para isso, ferramentas computacionais podem ser muito úteis. Previsões para situações futuras geralmente têm uma incerteza crescente ao longo do tempo. Os planos diretores portuários são projetados visando grandes períodos e algumas variáveis que, entre outras, determinam as dimensões terminais podem, portanto, estar sujeitas à incerteza. Na situação atual os cálculos são feitos assumindo determinados valores para parâmetros incertos, isso pode levar a um subdimensionamento ou superdimensionamento dos terminais. Para explicar as incertezas, podemos incorporar uma distribuição de probabilidades para variáveis específicas. Desta forma, muitas combinações

de entrada são incluídas em um único cálculo, resultando em uma análise mais completa e realista.

Essa dissertação pretende aprimorar esse processo de tomada de decisão de investimento em infraestrutura portuária por meio da aplicação do desenvolvimento e estudo de um modelo de simulação.

1.1 Objetivos

Este trabalho possui como objetivo responder a seguinte pergunta: “Como planejar uma infraestrutura portuária baseando-se na avaliação da capacidade do sistema por meio de um modelo de simulação?”. Desta forma, o objetivo da pesquisa se torna avaliar a capacidade de um sistema produtivo por meio de uma ferramenta matemática que auxilie a definição de investimentos, com a medição e avaliação da capacidade portuária. Esta ferramenta proporcionará, após a identificação de gargalos no sistema, a definição de quais as estratégias de investimento mais adequadas em múltiplos cenários, nos quais um conjunto de etapas decisórias de investimento priorizando e melhorando a compreensão das interações complexas entre as variáveis do sistema. Além disso, como objetivo secundário, porém igualmente importante, existe a construção de um modelo de simulação computacional que seja flexível para adaptações. Dessa forma, ele terá a capacidade de ser utilizado em outras situações semelhantes sem a necessidade de um alto investimento em ajustes, dada a relevância que o setor tem no contexto econômico mundial.

1.2 Justificativa

As motivações para o desenvolvimento da dissertação são três. Primeiro, o estudo é uma oportunidade de se ampliar e aplicar uma metodologia existente que utiliza a ferramenta para a medição e avaliação da capacidade de um sistema portuário. Sendo o foco baseado em um modelo de simulação, ao invés de uma abordagem analítica que utiliza equações empíricas para mensurar o desempenho e limites de um terminal.

Para a modelagem e simulação, será seguida a abordagem processo-interação. Nesta abordagem, introduzida por Zeigler et al. (2019) e Fishman (2001), o subsistema é virtualmente dividido em classes de elementos relevantes, cada uma com seus atributos

típicos. Para todas as classes de elementos ativos, foram definidas as descrições do processo, que descrevem o seu funcionamento em função do tempo.

Para a avaliação portuária foi baseada em uma metodologia existente desenvolvida pelo Dr. Richard de Neufville e pelo Dr. Stefan Scholtes, conforme destacado em seu livro *Flexibility in Engineering Design*, publicado em 2011.

A metodologia apresenta uma estrutura para avaliar as decisões de investimento em infraestrutura, que exigem grandes volumes de capital para ativos de longa duração, ao mesmo tempo em que enfrentam várias incertezas (Lin, 2008, p. 22). Devido às várias incertezas que uma decisão de aumento de capacidade do terminal pode enfrentar, a metodologia afirma que deve ser avaliada uma variedade de demanda potencial, em vez de uma demanda média (de Neufville & Scholtes, 2011, p. 16). Além disso, a metodologia destaca como o investimento com flexibilidade de projeto fornece maior valor do que um investimento projetado sem flexibilidade (por exemplo, construir uma estrutura com a(s) opção(ões) posterior(es) para adicionar equipamentos adicionais versus construir uma estrutura sem flexibilidade para expansão) (de Neufville & Scholtes, 2011, p. 39-40).

Já a segunda motivação, deve-se ao enorme capital geralmente envolvido em projetos de infraestrutura portuária, tornando necessário e importante que a capacidade do porto seja avaliada de forma minuciosa antes de qualquer comprometimento com uma decisão de investimento.

Para a medição da capacidade portuária, uma metodologia foi desenvolvida pelo Dr. Ioannis Lagoudis e James Rice Jr. em seu artigo de 2011, onde os autores realizam essa análise de um porto o considerando como um sistema, desde o litoral começando com o ancoradouro até o lado terrestre, terminando com ligações intermodais conectadas ao interior. Após a consideração dos dados de entrada (demandas, recursos, características operacionais etc.) para determinar os níveis de utilização e serviço, essa abordagem permite a identificação de gargalos de fluxo de carga no porto e a avaliação da implementação de melhorias de eficiência, potencialmente por meio de investimentos adicionais. A metodologia será aplicada nesse estudo, com o desenvolvimento e utilização de um modelo de simulação para essas análises de resultados para diferentes cenários hipotéticos.

Esta dissertação avalia a capacidade futura dos terminais e as estratégias potenciais de investimento, utilizando as três primeiras das quatro fases da metodologia existente de

Neufville e Scholtes. Assim, o processo (de Neufville & Scholtes, 2011, p. 13) envolve 1) uma avaliação de incertezas futuras, 2) a identificação de estratégias potenciais de investimento, 3) e a avaliação dessas possibilidades selecionadas.

Por fim, a terceira motivação deve-se ao fato de que, com o desenvolvimento de um modelo computacional flexível, será possível utilizá-lo para a aplicação de várias estratégias de investimento. Abrangendo projetos de infraestrutura portuária semelhantes tanto em sistemas já existentes quanto novos, isso sem ou com menor custo em adaptações, ao mesmo tempo em que incertezas existentes e previstas são consideradas durante sua vida útil. Sendo o produto desse estudo, um modelo computacional que pode ser utilizada com uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão através de avaliações de potenciais investimentos para melhorar a rentabilidade e aumentar a capacidade do porto, a fim de atender ao crescimento da demanda e/ou melhorar sua competitividade com os demais portos próximos.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em 7 capítulos: introdução, terminal portuário, revisão bibliográfica, desenvolvimento do modelo de simulação, cenários, resultados e conclusões.

Capítulo 1 é retratado o contexto do transporte marítimo e a importância dos terminais para a economia mundial. Os objetivos, justificativas e metodologia do trabalho é descrito. Capítulo 2 é apresentado uma visão geral sobre um terminal portuário e suas características. Capítulo 3 é exibido uma revisão bibliográfica que fornece uma visão geral sobre simulação. Ferramenta essa, que será utilizada para desenvolver um modelo de simulação de um terminal portuário.

Capítulo 4, onde é descrito o estudo de caso e todo o processo de desenvolvimento do modelo de simulação. Capítulo 5 será desenvolvido diversos cenários para análise de fatores que podem influenciar o sistema. Capítulo 6 é realizado a análise dos resultados obtidos com os cenários desenvolvidos no capítulo anterior.

Capítulo 7, quando serão feitas discussões e conclusões do trabalho.

2 TERMINAL PORTUÁRIO

Para terminais a granel, são apresentadas primeiras informações gerais, a fim de dar ao leitor mais informações sobre os aspectos mais importantes de um terminal. Em seguida, são dadas as propriedades relevantes dos equipamentos que são necessárias como entrada para as regras de projeto.

2.1 O que é um porto?

Os portos atendem múltiplas funções na indústria marítima, e fazem parte de uma complexa rede de *players*. O porto funciona como uma conexão que liga o transporte marítimo e terrestre. Há muitas definições de portos, algumas serão apresentados abaixo.

Um porto pode ser definido como um local físico, que constitui a *interface* entre terra e mar, que visa e permite a transferência de carga e pessoas. Hoje, os portos não são apenas um ponto de transferência entre o mar e a terra, mas também servem como centros de distribuição, logística e produção. Os portos também podem servir navios de lazer, pesca e/ou militares, desviando-se das atividades tradicionais de transporte de cargas comerciais (Bichou, 2009).

Uma definição simples de portos pode ser tomada do livro (Stopford, 2009) Economia Marítima, onde os portos são definidos como; "Uma área geográfica onde os navios são trazidos ao lado da terra para carregar e descarregar cargas – geralmente uma área de águas profundas, como uma baía ou foz de rio".

Essa definição é bastante simples, mas dá uma explicação do papel fundamental de um porto. Ao mesmo tempo, é importante ver que o papel dos portos é mais do que apenas um local à beira-mar. Hoje os portos são um grande *player* no sistema global de transportes, sem eles os navios transportando mercadoria não teriam lugar para carregar ou descarregar carga e, em seguida, novamente não serviriam para nenhum propósito; portanto, os portos podem ser vistos como facilitador do comércio marítimo para uma região.

2.2 Variáveis a serem consideradas no desenvolvimento de um terminal portuário

No projeto de um sistema portuário, devem ser consideradas diversas variáveis determinísticas e estocásticas. Como esclarecimento, um sistema determinístico é aquele em que não há qualquer aleatoriedade envolvida nos estados do sistema ao longo do tempo. Sendo assim, a partir de um estado inicial definido, esse sistema com variáveis determinísticas sempre produzirá os mesmos resultados. Por outro lado, em um sistema estocástico, processos aleatórios estão envolvidos nos estados futuros do sistema. Assim, dado um estado ou condição inicial do sistema, ele produzirá múltiplos resultados diferentes.

Normalmente em uma fase conceitual do sistema portuário pode ser definido um cenário determinístico ao considerar as médias de incertezas. Porém, adotar uma ocorrência estocástica como determinística utilizando a média, pode resultar em um resultado falho. Como exemplo, Bot (2012), demonstrou um caso extremo onde um *layout* de terminal foi definido com base na premissa de que, em média, a cada 24hs um navio chega no sistema. Com essa configuração, o terminal não é capaz de acomodar dois navios que podem chegar ao mesmo horário do mesmo dia e nenhum no dia seguinte. Algumas das variáveis estocásticas que podem ser necessárias durante a fase de detalhamento do projeto são:

- Distribuição dos tamanhos das embarcações;
- A taxa entre chegadas das embarcações;
- A taxa entre chegadas dos modais de transporte terrestre;
- Taxa de carregamento/descarga no cais;
- Tempo de atracação/desatracação;
- Taxa de carregamento/descarregamento no processo de armazenagem;

O tempo entre chegadas de embarcações é comumente definido como a diferença de tempo entre a chegada de duas embarcações consecutivas, ou como o inverso da taxa entre chegadas. Considerando um cenário determinístico, o tempo entre chegadas pode ser considerado como constante, apesar dessa variável ser estocástica. As variáveis mencionadas acima podem gerar momentos, durante a simulação, de pico ou surto e isso deve ser levado

em conta durante o detalhamento do projeto. No entanto, pode-se considerar um "fator de flexibilidade" que permitirá que as saídas determinísticas atendam a essas variações antecipadas, por exemplo, Bot (2012) conclui que a capacidade de armazenamento da área de estoque varia de acordo com a capacidade anual de rendimento do terminal, onde as maiores variações ocorrem nos terminais que têm rendimentos anuais mais baixos e sendo:

- Para grandes terminais, acima de 50 milhões de toneladas por ano (MTPA), um fator de 1.031 (ou aumento de 3,1%) a ser adicionado, e;
- Um fator de 1.076 (ou aumento de 7,6%) a ser adicionado para os que estão abaixo de 10 MTPA.

Embora não seja especificamente declarado, pode-se implicar a partir dos resultados do Bot (2012), que um fator de flexibilidade calculado em proporção ao rendimento pode ser adicionado às capacidades de armazenamento para terminais com rendimento entre 10 MTPA e 50 MTPA.

2.3 Características de um porto

A principal função da operação portuária é carregar/descarregar cargas dentro/de uma embarcação, e fazer os preparativos necessários para que as cargas estejam prontas para serem entregues ao consumidor via transporte interna. As operações portuárias em sistemas logísticos modernos envolvem não apenas esse manuseio de carga, mas também vários serviços que agregam valor, incluindo armazenagem, embalagem e organização dos meios de transporte internos. Com isso, buscam garantir que as cargas sejam passadas de forma suave e rápida para a próxima etapa do sistema logístico (Carbone & Martino, 2003) (Bichou, 2009) (Roh et. al, 2007).

A movimentação de diferentes tipos de cargas no mesmo grupo de berços causa menor rendimento do que se forem mantidos em berços separados. Por outro lado, atribuir tipos especiais de carga para diferentes grupos de berços causa perda de flexibilidade das operações portuárias. Especialização da movimentação de cargas reduz a capacidade dos berços com a divisão do porto antes da alocação de berços, perdendo assim a flexibilidade de atracação. Apesar disso, um porto especializado proporciona um ganho na capacidade de serviço das instalações do cais com a segregação das diferentes classes de tráfego, das altas

e baixas médias de tempo de serviço, além da separação dos navios grandes e pequenos, ou seja, há um ganho através de uma maior consistência da demanda (UNCTAD, 1985).

Segundo Hassan (1993), a operação de um porto pode ser compreendida de uma melhor forma quando dividimos de forma geral em quatro principais operações: (1) operação do modo marítimo de transporte, (2) operação de manuseio de carga, (3) operação de armazenagem e (4) operação do modo de transporte terrestre. A seguir, descreve-se a sequência operacional de um porto a partir da chegada do navio no porto.

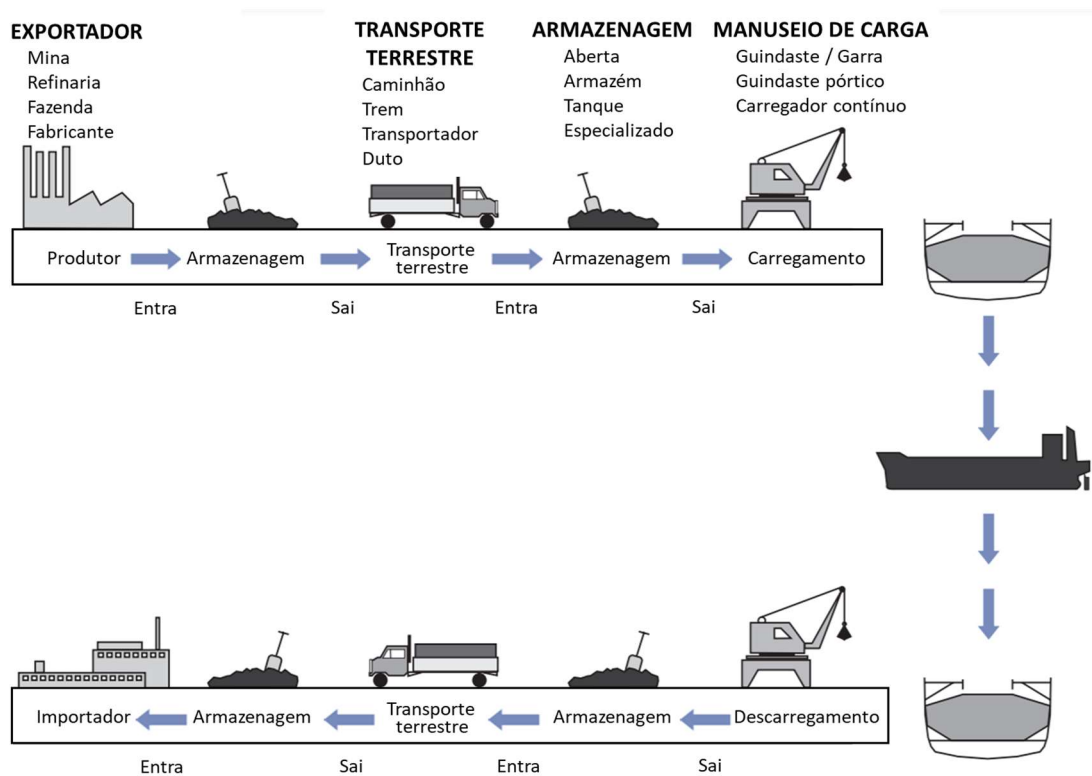
- 1) A operação geralmente começa com a chegada do navio à área do porto e dependendo do estado de congestionamento, ele pode ou não ter que esperar na área de fundeio. Normalmente, um ou mais rebocadores são designados para guiar o navio até o cais. Após a atracação, a carga é descarregada no cais e um rebocador piloto é designado para guiar o navio na saída do porto.
- 2) A operação de manuseio de carga começa com a preparação do navio para o descarregamento e, em seguida, são designados equipamentos para descarregar a carga (por exemplo, guindastes). A carga pode então ser direcionada para transporte terrestre ou movida para o sistema de armazenamento.
- 3) A operação do armazém se preocupa com o sistema de armazenamento. As cargas descarregadas são transferidas para os depósitos por caminhões, empilhadeiras, ferrovias etc. Em seguida, é necessário atribuir equipamentos de descarga, preparando um local para a carga, estiva da carga, armazenamento da carga e, em seguida, entrega da carga.
- 4) Para o transporte terrestre, a carga é carregada do armazém ou diretamente do navio após os equipamentos terem sido designados e transportados para os destinos por diversos meios de transporte existentes (embarcações, trens, caminhões ou dutos).

O processo apresentado refere-se ao processo de importação, se a carga for embarcada no navio (carga exportada), segue-se o processo inverso.

Stopford (2009), apresenta a sequência operacional de um sistema de transporte de produtos a granel e está representada na Figura 1. Ela consiste na viagem marítima e duas viagens terrestres que podem ser por caminhão, trem, transportadores ou dutos. Por exemplo, no caso de produtos a granel, existem quatro áreas de armazenamento localizadas na origem (mina,

campo petrolífero, fábrica ou usina siderúrgica), o porto de carregamento, o porto de descarga e o destino.

Figura 1 - Etapas do transporte de produtos



Fonte: Adaptado de Stopford (2009)

Um porto pode ser classificado segundo ao seu manuseio de carga, sendo de propósito único ou multipropósito. Um porto de propósito único é um terminal marítimo especializado no manuseio de cargas exclusivas como óleo, granel seco (carvão, ferro, minérios, pelotas) (Tsinker, 1997). Com o recente desenvolvimento da containerização nas últimas décadas, os portos de contêineres são conhecidos principalmente como portos de propósito único. Os portos operados apenas com carga a granel seca, carga a granel ou carga ro-ro também podem ser considerados como portos de propósito único. Este tipo de porto tem um apelo econômico único e utiliza tipos especiais de equipamentos para seu rendimento máximo. Os portos com terminais especializados podem utilizar a tecnologia portuária mais econômica para cada tipo de tráfego (por exemplo, os cais mais rasos possíveis, os guindastes mais eficientes e equipamentos de movimentação de carga etc.) (Özgüven, 2012). Atualmente, como 80% de toda a carga marítima se move por contêineres, a importância dos portos de propósito único é imperativa (Ramani, 1996).

Já um terminal multipropósito pode ser definido como um complexo de infraestrutura, serviços e equipamentos que atende de forma flexível e combinada à demanda de certos tipos de cargas e embarcações, permitindo assim a melhor utilização da mão-de-obra e dos equipamentos do terminal portuário (Enriquez Agos, 1991).

Um porto de múltiplos propósitos é o porto onde os navios de carga em geral podem transportar uma variedade de cargas como: contêineres, cargas pré-lançadas, grandes unidades de ferro e aço, grandes unidades de madeira embalada, bem como carros e máquinas pesadas, juntamente com uma carga básica de carga paletizada (UNCTAD, 1985). Para lidar com todas essas cargas de forma eficiente, o terminal precisa ter diferentes tipos de equipamentos.

Os terminais de múltiplos propósitos, a partir da prestação de serviço a diferentes produtos, conseguem uma utilização adequada dos berços apesar da flutuação sazonal característico de alguns tipos. Para pequenos volumes de demanda, os recursos operacionais multiuso também podem ajudar a reduzir a subutilização devido à aleatoriedade da chegada de navios e à variabilidade inerente nos tempos de serviço, mesmo em casos em que o tráfego está em estado estável (Daganzo, 1990).

Ainda é possível distinguir os portos de acordo com o seu fluxo de carga, entre importação e exportação. Os terminais de exportação estão localizados próximos à uma grande infraestrutura de transporte ou à fonte das *commodities* (mina ou poço), para facilitar os fluxos de saída do material (Wu, 2014). Esses terminais geralmente estão situados em países que são exportadores de material líquido, a granel, como Austrália, Brasil, África do Sul, Indonésia, Rússia e Canadá, que são alguns dos maiores mercados de exportação de minério de ferro e carvão (Van Vianen, Ottjes, & Lodewijks, 2011). Eles também são tradicionalmente construídos para o manuseio e exportação de um único ou um número muito limitado de tipos de *commodities*, devido à sua localização e/ou propriedade (Wu, 2014).

No caso dos terminais de importação, eles têm a função inversa do terminal de exportação, mudando apenas o sentido do fluxo de carga. Com o desenvolvimento de navios grandes e sistemas rápidos de manuseio de cargas, intensificou a existência de terminais de importação, pois tornou mais barato importar materiais de fornecedores localizados a

milhares de quilômetros de distância pelo mar, do que os muito mais próximos pelo transporte terrestre (Stopford, 2009).

2.3.1 Infraestrutura

Terminais à granel, assim como outros terminais portuários, funcionam como um sistema para permitir o bom movimento e armazenamento de produtos. De acordo com Ligteringen (1999), um terminal a granel seco precisa ter além de processos robustos e recursos humanos qualificados para cumprir a função de armazenamento e movimento eficientes de *commodities* uma infraestrutura:

1. Infraestrutura marítima;
2. Infraestrutura terrestre;
3. Equipamentos do terminal; e
4. Superestrutura do terminal.

A infraestrutura marítima, segundo Ligteringen (1999), compreende a bacia portuária em que um ou mais berços estão localizados para acomodar o atracadouro das embarcações. A bacia portuária contém as áreas dragadas (por exemplo, canal de aproximação e bacia) e pode conter outras estruturas de manejo costeiro. No contexto dos terminais a granel seco, as configurações de atracação também podem ser impactadas pelo tamanho e tipo de embarcações que podem atracar, além da natureza do processo de carga/descarga. De acordo com (Tsinker, 1997), independentemente do tipo de berço *offshore*, os principais elementos tipicamente incluem um píer ou plataforma de carga/descarga combinado com dolphins de amarração e atracação.

Segundo TNPA (2021), infraestrutura marítima compreende:

- Infraestrutura de serviços de faróis (faróis, bóias, balizas e equipamentos eletrônicos / de radionavegação)
- Controle e segurança portuária
- Canais de entrada
- Quebra-mares

- Bacias de manobra
- Ajudas à navegação dentro dos limites do porto
- Serviços de tráfego de embarcações
- Dragagem de manutenção nos portos

Além da infraestrutura marítima, também é necessária infraestrutura adicional no lado terrestre para garantir a função do terminal. Segundo Ligteringen (1999), A infraestrutura terrestre compreende tantos itens como área de armazenamento pavimentado (caro para terminais de contêineres), estradas, fundações para trilhos de guindaste, sistemas de drenagem etc. A infraestrutura terrestre é fundamental, apesar de geralmente não ser parte mais espetacular do terminal.

Para TNPA (2021), a infraestrutura terrestre abrange:

- Paredes de cais;
- Estradas;
- Ferrovias;
- Edifícios;
- Cercas;
- Segurança portuária;
- Iluminação (terminais externos);
- Serviços de produtos à granel; e em alguns casos,
- Infraestrutura de terminais.

Além disso, segundo Thoresen (2003), a infraestrutura auxiliar necessária para a funcionalidade do terminal inclui, serviços de engenharia para fornecimento, tais como, entre outras coisas:

- Instalações de iluminação e fonte de alimentação;
- Instalações de abastecimento de água potável e bruta;

E para a descarga:

- Instalações de disposição de esgoto;
- Instalações de eliminação de águas pluviais; e
- outras instalações de descarte de resíduos (como óleo e combustível)

Para a operação adequada de um terminal, os equipamentos nele são essenciais. De acordo com Ligteringen (1999), eles podem ser fixos compostos por transportadores de correias e guindastes estacionários, ou equipamentos móveis que se movimentam via sistemas rodoviários ou ferroviários. No contexto dos terminais à granel, os principais equipamentos necessários são apresentados a seguir com uma breve explicação.

Primeiramente, os equipamentos de manuseio do lado marítimo estão próximos ao(s) berço(s). Onde, segundo Stephens (2007), as embarcações atracam e que normalmente são indicadas/identificadas por um sistema de códigos ou nome.

De acordo com Ligteringen (1999), a capacidade do equipamento de carga/descarga é um fator determinante no que diz respeito à capacidade de rendimento de um terminal.

Segundo Meritxell (2018), existem 4 sistemas básicos de descarregamento:

- Sistema de garras: normalmente utilizados para pegar produtos de dentro de porões de embarcações e transferi-la através de tremonhas para as correias transportadoras;
- Sistemas pneumáticos: são baseados em vácuo ou baseados em sucção e pressão;
- Transportadores verticais: do tipo parafuso, de corrente/correia ou helicoidal;
- Elevadores de caçamba/caneca: compreendem um mecanismo de transporte vertical de grãos e pós em geral por meio de um sistema rotativo constante de caçambas/canecas.

Sistema de carregamento das embarcações:

- Normalmente requer apenas um elevador ou transportador de carga, uma calha de carregamento e a força da gravidade.
- Os carregadores de navios, normalmente são posicionados de forma adjacente às escotilhas que serão carregados, recebendo a carga através de correias transportadores de alta capacidade.

Os sistemas horizontais de transporte de terminais são o conjunto de correias transportadoras. Esses sistemas são muito utilizados em terminais com o transporte contínuo de produtos a granel (Van Vianen, 2015). Os sistemas de transportadores de correia são amplamente usados na indústria de mineração para transportar de forma contínua e confiável materiais a granel com uma ampla gama de capacidades e grandes distâncias entre minas, armazenamento, processamento e pontos de carregamento e descarregamento (CEMA, 2002).

No pátio de estocagem, podemos destacar diversos equipamentos fundamentais de manuseio, como as empilhadeiras, as recuperadoras e empilhadeiras-recuperadoras.

Empilhadoras ou recuperadoras são máquinas projetadas para serem conectadas a sistemas de correia para permitir o empilhamento ou recuperação contínuo de material a granel em áreas de armazenamento (UNCTAD, 1985).

Da Cruz (2003) descreve as empilhadeiras, também conhecido como *stacker*, um equipamento que é acoplado a uma correia, sendo responsável por despejar o minério em uma pilha de estocagem. Este equipamento se assemelha a um guindaste e se desloca pelas áreas do porto sobre pares de trilhos.

As recuperadoras também são acopladas a uma correia, cuja função é retirar minério de uma pilha de estocagem em geral para o embarque no navio. Este equipamento conta com um conjunto de pás mecânicas que retiram o minério das pilhas de estocagem (Da Cruz, 2003).

Segundo Van Vianen (2015), as empilhadeiras-recuperadoras são máquinas que combinam as duas funções de empilhamento e recuperação em uma única unidade. Conseqüentemente, uma das duas funções pode ser utilizada de uma vez. Durante o processo de empilhamento, o material é transportado através da máquina até o final da sua lança, onde o produto é descarregado em uma pilha no pátio. Durante a recuperação, é utilizada um dispositivo de recuperação, que na maioria dos casos é uma roda de caçamba montada no final da lança da máquina que retira o material da pilha. O material é transportado na direção reversa através da máquina e despejado em uma esteira transportadora que transporta o material para seu novo destino.

Os sistemas de transporte terrestre incluem a infraestrutura envolvida nos modais ferroviário e rodoviário, e seus sistemas de carregamento e descarregamento.

O transporte ferroviário utiliza como via de locomoção a estrada de ferro (trilhos) e seus veículos são as locomotivas e os vagões de carga (Merlo, 2008). Os principais componentes são as linhas e pátios ferroviários, locomotivas, vagões e as oficinas de manutenção de vagões, locomotivas etc. (CNT, 2015).

Segundo Novaes (2007) o transporte Ferroviário é mais eficiente em relação ao consumo de combustível e outros custos operacionais diretos por operar unidades (os trens) de maior capacidade de carga. Porém, os custos fixos de uma ferrovia são elevados, devido a necessidade de ser constantemente reparada. Segundo Ballou (2006), a ferrovia é basicamente um transportador de baixa velocidade de longo percurso para matérias-primas (produtos químicos, carvão, madeira etc.) e para produtos manufaturados de baixo custo (papel, alimentos e produtos florestais etc.).

Ballou (2006) também afirma que as ferrovias disponibilizam uma variedade de serviços especiais aos embarcadores, desde o transporte de granéis (carvão, cereais etc.) até vagões especiais para produtos que exigem equipamentos e cuidados especiais como automóveis novos e produtos refrigerados.

Segundo Ojha (2015), o método mais comum de descarga dos vagões do trem é a "descarga gravitacional". Ela pode ser feita de duas maneiras: (1) o produto pode fluir através do fundo do vagão, sendo uma característica do próprio vagão; ou (2) pode ser despejado girando-o através do virador de vagões.

O processo de carregamento de granéis sólidos em vagões ocorre de forma semelhante aos realizados nos caminhões, podendo ser executado através de 3 instalações: (1) Praias do Terminal – a forma mais econômica, porém, nem sempre a mais eficiente, através do carregamento por meio de pás mecânicas e empilhadeiras; (2) Muros de Carregamento - neste modelo as pás mecânicas ficam em muro, em uma área acima dos vagões, facilitando o carregamento por cima; ou (3) Silos de Carregamento – o produto, através do efeito da gravidade, é lançado em volumes padrões de carga na parte superior do vagão, através do silo (Cavalcante, et al., 2017).

O transporte rodoviário é aquele realizado através das ruas, estradas e rodovias, sejam elas pavimentadas ou não, com a intenção de transportar de um ponto ao outro, produtos, animais ou pessoas. Segundo Dias (2010), esse modal é responsável pelo transporte da maior parte

das cargas movimentadas no Brasil. É o transporte mais utilizado e com maior acesso dos modais existentes no Brasil.

Segundo Novaes (2007), uma das maiores vantagens do modal rodoviário é o acesso a praticamente qualquer ponto do território nacional, com exceção de lugares muito remotos. Locais esses, devido à natureza, não possuem desenvolvimento econômico para demandar esse tipo de serviço. Esse meio de transporte é o mais adequado para a distribuição de pequenos volumes a áreas mais abrangentes, pois comparado aos demais meios de transporte, o rodoviário tem um custo de aquisição relativamente baixo (Arnold et al. , 2016).

O descarregamento de vagões geralmente é realizado de duas formas, pelo próprio sistema pneumático do caminhão, ou por sistemas que realizam o tombamento do veículo. Existem caminhões que conseguem descarregar a carga diretamente no pátio ou local de armazenagem. Existem dois tipos básicos de tombadores de caminhões, o tipo de plataforma de descarga traseira e a lateral (Janzé, 2016).

Por fim, de acordo com Ligteringen (1999), a superestrutura consiste nos galpões e outros espaços de armazenamento cobertos como silos (normalmente utilizados para certos tipos de granéis), escritórios, oficinas e outros edifícios. A necessidade dessas instalações dependerá do *mix* de produtos previsto que o terminal estará manuseando e dos processos no terminal.

2.3.2 Operação

As principais operações de um terminal portuário serão explicadas de acordo com EMS Tech (2014), sendo baseado em um terminal de exportação, o inverso também é compatível em diversos aspectos para importação.

É possível dividir os processos em 3 grandes grupos e ilustrado na Figura 2:

- Processos de recebimento (Terrestre)
- Processos de manuseio e armazenagem
- Processos de expedição (Marítimo)

Figura 2 - Processos em um terminal portuário a granel



Fonte: Autor

O recebimento de produtos pode ser resumido em 3 grandes operações, a chegada do material, o descarregamento no terminal e a transferência até a área de armazenamento.

Os produtos são entregues ao terminal de exportação através do modal ferroviário ou rodoviário. Após a chegada, cada modal possui um processo diferente de descarregamento.

No caso dos trens, eles chegam e entram nas linhas férreas onde permanecem até realizarem o processo de descarregamento, aonde os vagões vão para viradores de vagão que rotacionam para despejar o conteúdo nas tremonhas localizadas logo abaixo. Existem vagões que possuem um sistema de abertura do fundo sem ter a necessidade de virar ele para o descarregamento. Após esse processo, os vagões seguem para uma pêra ferroviária em que o trem faz o retorno e sai do terminal.

Para o descarregamento dos caminhões, eles chegam primeiramente em um portão de entrada do terminal através de uma via de acesso rodoviário. Dentro do terminal, eles vão até estações de descarregamento onde estão os tombadores. Eles são posicionados corretamente em rampas e presos, uma vez seguros, a caçamba é aberta para que a carga seja descarregada através do tombamento, inclinando o automóvel o suficiente para que a carga seja toda despejada nas tremonhas abaixo deles. Após o término, a rampa é abaixada para que o veículo saia, liberando para o próximo descarregamento.

O processo de transferência das cargas até as áreas de armazenamento inicia com o material sendo despejado nas tremonhas (via vagões ou caminhões), que transferem para uma correia transportadora localizada logo abaixo. A carga viaja através dela até diversos equipamentos de descarregamento no pátio (por exemplo empilhadeiras ou mesmo empilhadeiras-recuperadoras), localizados entre as pilhas de produto.

Já na área de armazenamento, podemos destacar 3 processos: o empilhamento, a armazenagem e recuperação dos produtos.

Primeiramente, a carga chega através de correias transportadoras até os equipamentos de descarga, como a empilhadeira-recuperadora que direciona o fluxo na pilha que será formada, e então despeja o produto.

Uma vez que o produto é descarregado nas pilhas do pátio, ele é armazenado até que esteja preparado para ser exportado ou importado.

Quando é definido o destino do produto em estoque, a empilhadeira-recuperadora utiliza as garras rotatórias para retirar a carga das pilhas, retirando camada por camada e despejando nas correias transportadoras. Dessa vez, no sentido contrário ao processo de empilhamento, as correias transferem o produto até o cais.

Sobre os processos de expedição marítimos, quando a embarcação atraca no cais e está preparada para ser carregada, então inicia o processo de recuperação das pilhas de armazenamento no pátio utilizando os equipamentos de manuseio e transporte para que o navio seja abastecido, assim como foi explicado no item anterior. Carregadores de navio despejam a carga nos porões das embarcações, uma vez completa a operação, eles desatracam e partem para o próximo destino.

2.4 Navios

Navios graneleiros tem como objetivo o transporte de carga a granel homogênea, com o processo de carga e descarga vertical, através de escotilhas de grandes dimensões (Ventura, 2009).

Segundo Vieira (2013), os principais tipos de cargas movimentadas pelos agentes portuários são:

- Granel sólido;
- Granel líquido;
- Carga geral solta;
- Carga geral containerizadas.
- *Roll-on-roll-off*, acrescentada por Vianna Jr. (2009).

As cargas a granel são aquelas que não demandam acondicionamento em qualquer embalagem e são subdivididas em granéis sólidos (como minério de ferro, manganês, bauxita, carvão, sal, trigo, soja, fertilizantes, entre outros) ou líquidos, que podem ser: petróleo e seus subprodutos, óleos vegetais, etanol etc. (Appa, 2016).

A carga geral se refere às mercadorias, que na maioria das vezes são embaladas e necessitam de arrumação ou estivagem para o transporte, seja ele refrigerado ou não. As mercadorias que são transportadas embaladas podem ser classificadas como: bobinas/rolos, amarrado/atado (sacarias) e caixote aramado. Para aquelas as quais não é necessário o uso de embalagem temos, por exemplo: animais vivos e enjaulados, madeira ou aço, chapas de ferro, pedras em bloco, tubos de ferro, pneus soltos, veículos entre outros (Appa, 2016).

Contêiner, segundo Appa (2016), é um recipiente ou embalagem grande de metal, no qual a mercadoria é acondicionada. Seu transporte é lacrado e sendo descarregado e aberto (desovado) no local de destino. Os tipos de contêineres são:

- carga geral diversificada, em sacas de mercadorias, madeiras, grãos etc.;
- abertos ou *Flat Rack*, com paredes frontais e usados para cargas compridas ou de forma irregular;
- flexível ou *big bag*, usado para acondicionar granéis sólidos;
- frigorífico ou *reefer*, que é equipado com gerador de frio para transportar produtos perecíveis;
- alta cubicagem ou *high cube* (HC), usados para cargas de alto volume e baixo peso;
- contêineres para automóveis;

- tanque, para produtos líquidos;
- teto aberto ou *open top*, para acondicionar trigo, cimento etc.

No caso das cargas *roll-on roll-off*, referem-se ao transporte sobre rodas, especialmente contêineres ou reboques, os quais embarcam com a utilização de rampas (Marad, 2008). Vianna Jr. (2009) afirma que os navios destinados a esses carregamentos possuem um sistema de rolagem para carregar e descarregar as cargas, como: automóveis, semirreboque, reboques, caminhões ou ferrovia.

Além das categorias em função da carga citadas, existe uma classificação das embarcações de acordo com o seu tamanho, que é descrito por uma série de parâmetros, mas o mais comum é a capacidade de peso morto dos navios em toneladas. A tonelagem de peso morto de um navio (*dwt*) é sua capacidade total de que o navio consegue transportar, incluindo a carga transportada, bem como materiais adicionais de consumo, como combustível e água doce (Thoresen, 2003). Para a maioria dos navios, a capacidade de transporte de carga é aproximadamente igual ao seu peso morto, mas em alguns casos, para avaliar com mais precisão a capacidade que o navio possui de transporte, durante o seu desenho detalhado, um fator de redução de 95% do *dwt* pode ser usado. No entanto, para fins de consistência e simplificação, o fator de redução não é utilizado durante o modelo conceitual, para efeitos deste estudo. Existem seis classes mais comuns, segundo Duran e Martin (2016), e suas faixas de tonelagem de peso morto associadas são:

- Pequenas embarcações: menores que 10,000 *dwt*
- *Handysize*: 10,000 até 39,999 *dwt*;
- *Handymax*: 40,000 até 59,000 *dwt*;
- *Panamax*: 60,000 até 99,999 *dwt*;
- *Capesize*: 100,000 até 200,000 *dwt*;
- *Very Large Ore Carrier (VLOC)*: maiores que 200,000 *dwt*.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Pesquisa Operacional

Como o nome sugere, a pesquisa operacional (PO) se refere a uma grande variedade de "pesquisas sobre operações". Esse campo estuda problemas relacionados às atividades e processos dentro das organizações, através da aplicação de métodos matemáticos para a decisão de como conduzir e coordená-las. A essência das organizações é tipicamente imaterial, o que significa que a PO tem sido extensivamente aplicado em diferentes áreas, como no transporte, manufatura, serviços públicos e militares, telecomunicações, planejamento financeiro, saúde, entre outros (Hillier & Lieberman, 2015). As origens da PO podem ser traçadas há algumas décadas, quando as primeiras organizações tentaram utilizar o método científico para obter soluções para tarefas de gestão. Segundo Hillier e Lieberman (2015), apesar das abordagens científicas nas organizações, a adoção do termo pesquisa operacional tem sido comumente atribuída aos serviços militares britânicos durante a Segunda Guerra Mundial. Devido à necessidade crítica de fornecer recursos limitados a um grande número de tropas, a gestão militar convocou cientistas para encontrar soluções para questões estratégicas e táticas. Os cientistas desenvolveram uma variedade de modelos matemáticos e, com o sucesso da PO durante a guerra, houve o interesse em lidar com problemas fora do âmbito militar. Essa motivação ocorreu devido à expansão industrial que se seguiu à guerra, onde problemas organizacionais estavam se tornando mais complexos, exigindo abordagens mais sofisticadas.

Hillier e Lieberman (2015) afirmam que pelo menos dois fatores foram essenciais para o rápido crescimento da pesquisa operacional: (1) as rápidas melhorias das técnicas de PO e a (2) revolução computacional, onde o avanço tecnológico possibilitou que computadores realizassem cálculos com uma velocidade muito mais alta do que um ser humano conseguiria. Segundo Taha (2017), não há uma única técnica geral na PO para resolver todos os problemas matemáticos que surgem. Ao invés disso, o tipo e a complexidade do modelo matemático em estudo geralmente definem a natureza do método de solução a ser utilizado. Os métodos mais utilizados na PO são os seguintes: programação linear, programação inteira, programação dinâmica, programação em redes, programação não linear, além de

modelos de fila e simulação. Uma característica comum compartilhada pelas técnicas de PO baseia-se no fato de que as soluções não são obtidas diretamente em fórmulas fechadas. Essas soluções são determinadas por algoritmos, que contêm uma série de regras computacionais fixas que são repetidamente aplicadas a um problema a fim de encontrar a melhor solução possível (Taha, 2017).

Segundo Carvalho (2003), as técnicas de PO continuaram a evoluir. Podemos citar alguns exemplos de problemas que são abordadas com a utilização dessas técnicas:

- Programação linear: alocação e transporte de materiais e pessoal, assim como problemas de mistura (por exemplo, a determinação do ritmo de produção de frentes de lavra).
- Programação dinâmica: programação de produção, planejamento de gastos com propaganda e esforços de venda.
- Teoria das filas: programação de produção, problemas de tráfego urbano, programação de tráfego aéreo, operação de hospital e outros problemas que envolvam filas.
- Simulação: problemas que ocorrem em sistemas industriais com a aplicação de ferramentas probabilísticas. Por conseguir representar as variações que ocorrem nesses sistemas, a simulação abriu um enorme campo de aplicação.

3.2 Simulação

Segundo Taha (2017), simulações lidam com o estudo de linhas de espera. Apesar de não ser uma ferramenta de otimização, ela possibilita a determinação de medidas de desempenho como o tempo de espera em fila, utilização de recursos entre outros.

Segundo Altioek e Melamed (2007), o paradigma da modelagem de simulação refere-se a experimentar sistemas complexos através de um guia prescrito de objetivos como a melhoria do projeto do sistema, análise custo-benefício, sensibilidade aos parâmetros de projeto, e assim por diante. O processo de experimentação consiste em gerar históricos do sistema e observar o comportamento do sistema ao longo do tempo, bem como suas estatísticas. Assim, a representação criada descreve a estrutura do sistema, enquanto os históricos gerados descrevem o comportamento do sistema, partindo da análise desses dados é possível

atingir os objetivos mencionados. Apesar das grandes capacidades do uso da simulação, ela apresenta algumas desvantagens. O processo de desenvolvimento de modelos de simulação geralmente é muito caro tanto em tempo quanto em recursos (Taha, 2017).

Segundo Altiok e Melamed (2007), os modelos são frequentemente usados para evitar a opção de construir um sistema real e caro. Exatamente por questões econômicas que os modelos de simulação são motivados a serem desenvolvidos. Para lidar com essas restrições, Altiok e Melamed (2007) propuseram a seguinte lista de três vertentes motivacionais que devem ser discutidas antes de construir um modelo:

1) Prever o desempenho do projeto experimental do sistema:

Quando o sistema a ser estudado ainda não existe, essa pode ser uma oportunidade de simulação. Construir e manipular um modelo real é muitas vezes muito mais caro e arriscado do que testar o comportamento do sistema em um software de computador.

2) Avaliar o desempenho do sistema em cenários comuns e incomuns:

A necessidade de construir um modelo pode depender do fato de que as operações rotineiras da vida real não podem ser interrompidas para estudo. Testar cenários alternativos pode ser útil para evitar as severas consequências de parar o sistema real.

3) Classificação de múltiplos projetos e análise de seus *trade-offs*:

Isso permite uma análise profunda de múltiplas opções de investimento.

Agora, para uma melhor compreensão da simulação como ciência, a seguir serão apresentados os principais conceitos associados: simulação; sistema; modelo; entidades e atributos; e recursos.

- Simulação

Simulação é uma técnica que envolve a utilização de um computador para imitar/simular a operação de um processo ou sistema inteiro. Sendo uma das técnicas da PO mais utilizadas devido, em grande parte, à sua flexibilidade, poderosa e intuitiva ferramenta (Hillier & Lieberman, 2015).

Um sistema é uma coleção de entidades inter-relacionadas trabalhando juntas para atingir algum objetivo (Seila, 1995). O sistema pode agregar muitos outros subsistemas, e um deles pode agregar muitos outros subsistemas (Sanchez, 2007). É preciso ter um cuidado para

definir os limites do sistema de forma que o modelo seja complexo o suficiente para obter respostas para as questões levantadas, mas não tão complexa (Banks, 2000). Os sistemas são influenciados por seu ambiente, uma vez que recebem entradas que causam mudanças no sistema e produzem resultados (saídas). Essas mudanças são representadas por variáveis de estado, que juntas definem o estado do sistema. Em outras palavras, as variáveis de estado do sistema contêm os dados necessários para descrever o estado do sistema em um determinado momento da simulação (Law, 2015).

- Modelo

O modelo é uma representação simplificada do sistema (Seila, 1995). Ele representa os comportamentos e a dinâmica do sistema, permitindo uma melhor compreensão dele e ajudando a prever problemas ou gargalos (Carson, 2005). Idealmente, as mudanças que ocorrem em um sistema real devem ser representadas no modelo (Sanchez, 2007) para permitir respostas às perguntas "e se" (Banks, 2000). Segundo Law (2015), o sistema pode ser modelado através de um modelo físico ou matemático. Em um modelo físico, a imitação do sistema é feita utilizando recursos físicos, como por exemplo, carros de barro em túneis de vento ou superpetroleiros em miniatura correndo em uma piscina. Em modelos matemáticos, o comportamento do sistema é expresso por relações lógicas e quantitativas. Law (2015), também afirma a existência de dois tipos de modelos matemáticos: soluções analíticas ou simulação. Segundo Goldsman (2007), soluções analíticas são usadas quando o sistema é simples o suficiente para ser abordado por meio de métodos analíticos, como cálculo, probabilidade e estatísticas padrão ou teoria das filas. Se o sistema é tão complexo que é impossível representá-lo através de uma solução analítica, então a simulação deve ser usada (Goldsman, 2007).

- Entidades e atributos

As entidades são os principais objetos ou componentes de um sistema que requerem uma representação explícita no modelo (Banks, 2000) (ex. máquinas, clientes etc.). Entidades e suas relações definem o comportamento do sistema, ou seja, as entidades causam mudanças no estado do sistema. Sem eles nada aconteceria na simulação (Ingalls, 2002). Cada entidade tem seus próprios atributos, que são características identificadas que são muito importantes para entender o papel da entidade no sistema que ajuda a prever o comportamento do sistema (Ingalls, 2002). Diferentes entidades podem ter atributos semelhantes, mas, de acordo com

as metas do estudo, um atributo pode ser interessante para um estudo especial e desinteressante para outro (Banks, 2000). Por exemplo, em um jogo de futebol, as entidades seriam os jogadores de futebol, o treinador e o árbitro. Os atributos seriam velocidade de corrida, condição física etc. Toda entidade tem velocidade de corrida, mas apenas a velocidade do jogador é importante.

- Recursos

Um recurso é um objeto com capacidade limitada (Ingalls, 2002) que existe para atender entidades e pode ser muitas coisas, como máquinas, computadores, trabalhadores ou veículos (Carson, 2005). Os recursos nem sempre estão disponíveis para servir, ou seja, têm estados e limites. Um recurso pode ter muitos estados diferentes, como "ocioso", "ocupado" ou "bloqueado" (Banks, 2000). O estado é muito importante porque é necessário definir se o recurso é capaz de servir ou não. Normalmente, um recurso serve a uma entidade no momento, porém alguns recursos podem servir a muitas entidades ao mesmo tempo (de acordo com seus limites) operando como um servidor paralelo (Banks, 2000).

3.2.1 Tipos de Simulação

Existem diversas maneiras de classificar modelos de simulação, Kelton, Sadowsky & Zupick (2014) apresentam uma forma útil para distinguir eles dentro das três dimensões apresentadas abaixo:

- 1) Estático ou Dinâmico:

Em modelos estáticos, o tempo não tem um papel importante/significante como em modelos dinâmicos. A maioria dos sistemas de engenharia e de gerenciamento são caracterizados por sua natureza dinâmica.

- 2) Contínuo ou Discreto

Modelos contínuos possuem a característica em que o estado do sistema muda continuamente ao longo do tempo. Como exemplo de um sistema contínuo, podemos citar o processo de abastecimento de um tanque, onde o fluxo do líquido entrando ou saindo do tanque muda o estado do sistema muda progressivamente. No caso de eventos discretos, o estado do sistema só muda em instantes específicos no tempo. Por exemplo, uma linha de montagem em que peças chegam e são expedidos em horários específicos. Existem situações

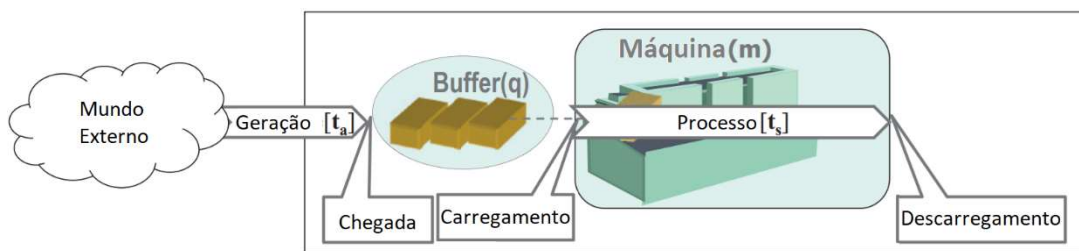
em que um sistema possui tanto eventos discretos quanto contínuos, sendo classificados como sistemas mistos.

Simulação de eventos discretos refere-se a sistemas onde a variável de estado muda apenas em alguns pontos discretos no tempo (Banks et al., 2005). Para ilustrar uma simulação de evento discreto podemos citar o exemplo de um sistema de serviço único composto por uma máquina e um buffer em uma fábrica. A estrutura do sistema é descrita da seguinte forma por Choi e Kang (2013).

- 1) Uma entidade chega ao sistema com tempos entre chegadas definidas como t_a e a entidade é processada na máquina se ela estiver ociosa; caso contrário, a entidade espera para ser processada no buffer.
- 2) A entidade é processada com tempo de serviço (t_s) e descarregada;
- 3) Quando a entidade sai do sistema, a próxima entidade é carregada se o *buffer* não estiver vazio.

As variáveis de estado deste sistema são o número de unidades no *buffer* (q) e estado da máquina (m), que pode ser inativo ou ocupado. Os eventos são: chegar, carregar e descarregar. A Figura 3 apresenta um esquema do sistema de serviço único:

Figura 3 - Esquema de um sistema de recurso único



Fonte: Choi e Kang, 2013

3) Determinístico ou Estocástico:

Classificamos como determinístico quando não existe a presença de entradas aleatórias, mas o contrário, com tempos de entrada fixos. Um exemplo desse tipo de modelo são operações rigorosas de agenda de compromissos. Os modelos estocásticos operam com pelo menos, algumas entradas aleatórias. Por exemplo, a chegada de ônibus em um terminal, onde geralmente segue alguma característica aleatória. Assim como no item anterior, existem sistemas em que tanto características determinísticas quanto estocásticas estão presentes.

Segundo Bandyopadhyay e Bhattacharya (2014), a simulação baseada em agentes surgiu devido a necessidade da era atual de desenvolver ferramentas mais flexíveis, adaptáveis e autônomas. Com capacidade de conseguir tomar decisões em situações dinâmicas e que também se adapte às mudanças dinâmicas do ambiente depois de aprender sobre ele.

Na simulação baseado em agentes, a modelagem do sistema envolve uma coleção de agentes, caracterizadas como entidades autônomas de tomada de decisão (Bonabeau, 2002). De forma simplificada, ela consiste na relação entre os agentes e o sistema. A modelagem baseada em agentes (MBA) está mais para uma outra forma de pensar do que uma tecnologia, onde a perspectiva do sistema pelas suas unidades constituintes é quem o descreve (Bonabeau, 2002).

MBA é uma espécie de modelo computacional que explora sistemas de múltiplos agentes interagindo que estão espacialmente situados e evoluem ao longo do tempo (Sheikh, 2018).

Segundo Macal e North (2011), MBA é um método relativamente novo que permite a modelagem de sistemas compostos por agentes individuais, autônomos e que interagem entre si. Isso permite modelar o comportamento de indivíduos e como esses comportamentos influenciam os demais, o que não era possível antes. Na pesquisa de Bandini et al. (2009), um modelo pode ser uma representação abstrata e simplificada de uma determinada realidade já existente ou apenas planejada. A simulação de modelo baseada em agentes pode ser caracterizada pela interação agente-agente e interação agente-ambiente.

3.2.2 Vantagens e desvantagens do uso da simulação

A utilização da simulação tem uma série de vantagens, ela permite testar todos os aspectos de uma mudança planejada sem comprometer o sistema real. Isso é fundamental, pois quando a construção começar, mudanças e correções podem ser muito caras (Banks, 2000).

Segundo Shannon (1998), a simulação em comparação com os modelos analíticos ou matemáticos, possui diversas vantagens para a análise de sistemas. Primeiro, o conceito básico de simulação é de fácil compreensão, sendo assim, frequentemente mais simples justificar seu uso para a gerência ou clientes do que alguns modelos analíticos ou matemáticos. Além disso, um modelo de simulação pode ser mais confiável, devido ao seu

comportamento comparável ao sistema real ou porque requer menos suposições de simplificação, ou seja, ela captura mais das verdadeiras características do sistema em estudo.

Shannon (1998) também afirma que a simulação fornece um seguro barato e uma ferramenta de tomada de decisão econômica para os gestores. Permite minimizar os riscos, descobrir as decisões certas antes de tomar as erradas. Através da simulação, é possível entender melhor por que certos fenômenos ocorrem no sistema real devido a capacidade da simulação manipular o tempo. Com isso, comprimindo e/ou expandindo o tempo, é possível acelerar ou retardar fenômenos permitindo realizar análises deles.

Banks et al. (2005) afirmam que a simulação é atraente porque é capaz de emular o que acontece em um sistema real ou o que é esperado para um sistema ainda em fase de projeto. Dado um conjunto de circunstâncias, observa-se o comportamento do sistema e conclusões são tiradas.

É possível complementar as vantagens com alguns pontos mencionados por Law (2015). Segundo o autor, a simulação permite estimar o desempenho de um sistema existente em algum conjunto projetado de condições operacionais. Projetos alternativos de sistemas (ou políticas operacionais alternativas) podem ser comparados via simulação permitindo verificar qual melhor atende a um requisito especificado. Além disso, em uma simulação, podemos manter um controle muito melhor sobre as condições experimentais do que geralmente seria possível ao experimentar com o próprio sistema físico real.

Banks (1998), lista mais vantagens na utilização da simulação. Ela possibilita o diagnóstico de problemas, uma vez que é possível compreender melhor as interações entre as diferentes variáveis que compõem o sistema. Assim, obtemos o conhecimento da importância dessas variáveis e gargalos, através dos impactos deles no desempenho geral do sistema.

Através da simulação, confrontamos as decisões de projeto, geralmente baseadas em experiências de alguém para prever sobre como o sistema irá operar, com o estudo de como ele realmente irá operar. Permitindo, dessa forma, desenvolver a compreensão do sistema. Além disso, Banks (1998) menciona vantagens visuais do projeto além dos desenhos técnicos em CAD, com a utilização da funcionalidade de animação que muitos *softwares* de simulação possuem, possibilitando ver as instalações ou sua organização operando. Em alguns deles é possível visualizar o sistema em três dimensões, o que pode possibilitar a

identificação de falhas de projeto que pareciam críveis quando analisadas no papel ou em um desenho CAD bidimensional.

Outra vantagem apresentada por Banks (1998) é a construção de um consenso, devido ao fato de que é muito mais fácil aceitar os resultados confiáveis de uma simulação que foi devidamente modelado, testado, validado e representado visualmente do que baseados na opinião de uma pessoa sobre os resultados que teríamos com um projeto proposto. Para o autor, a ferramenta permite a preparação para as mudanças, uma vez que o futuro as trará. A simulação desses cenários permite que todas as dúvidas sobre “e se” tanto para projetos de novos sistemas como para o reprojeto de sistemas já existentes sejam respondidas.

Apesar de todas as vantagens já mencionadas, a simulação pode não ser uma ferramenta perfeita para realização da análise do sistema de estudo. Primeiro, podemos justificar com o fato de que muitos sistemas reais são afetados por entradas incontrolláveis e aleatórias, além de muitos modelos de simulação envolverem componentes aleatórios, ou estocásticos de entrada, fazendo com que sua saída seja aleatória também. Embora os modeladores pensem cuidadosamente em projetar e analisar experimentos de simulação, a saída de simulação ainda pode ser incerta. Essa incerteza pode ser resolvida fazendo muitas suposições simplificadoras sobre o sistema. Infelizmente, porém, um modelo tão simplificado provavelmente não será uma representação válida do sistema. Em geral, os modeladores preferem uma resposta aproximada ao problema certo, em vez de uma resposta exata para o problema errado (Bahtiyar, 2005).

Segundo Banks (2000), a criação de um modelo requer tempo e experiência. Além disso, a maioria dos dados de saída da simulação são essencialmente variáveis aleatórias (geralmente são baseadas em entradas aleatórias). Conseqüentemente, pode ser difícil determinar se uma saída de simulação é resultado de inter-relações do sistema ou resultado de aleatoriedade. Shannon (1998) afirma que a simulação não pode compensar a utilização de dados inadequados de entrada ou decisões ruins de gestão.

Banks (1998), lista mais algumas desvantagens na utilização da simulação começando pela modelagem de simulação e análise poderem demandar muito tempo e ser caro. Mesmo que no processo sejam feitas simplificações, os resultados do modelo podem ser insuficientes para o objetivo do estudo. O autor também alerta que a utilização da simulação de forma inapropriada em alguns casos em que a solução analítica é possível, ou mesmo preferível.

Em defesa da simulação, Banks (1998) apresentou alguns pontos que combatem alguns dos problemas apresentados. Primeiramente, os vendedores de *softwares* de simulação vêm ativamente buscando desenvolver pacotes com modelos já prontos, onde é necessário apenas que o usuário defina os valores de entrada. Dessa forma, o problema relacionado à complexidade e tempo de desenvolvimento são reduzidos.

Assim como foi mencionado, pacotes para que o *software* já possibilite a realização de análises estão sendo desenvolvidos e disponibilizados. Assim, essa tarefa com os dados de saída do modelo é facilitada, apesar do usuário ainda precisar entender o procedimento de análise. Além de reduzir o tempo necessário para o desenvolvimento e execução dos modelos com o avanço da tecnologia, assim como a disponibilidade de componentes para modelar o manuseio de materiais usando transportadores como esteiras ou veículos guiados automatizados (VGAs) (Banks, 1998).

3.2.3 Desenvolvimento de um estudo através da simulação

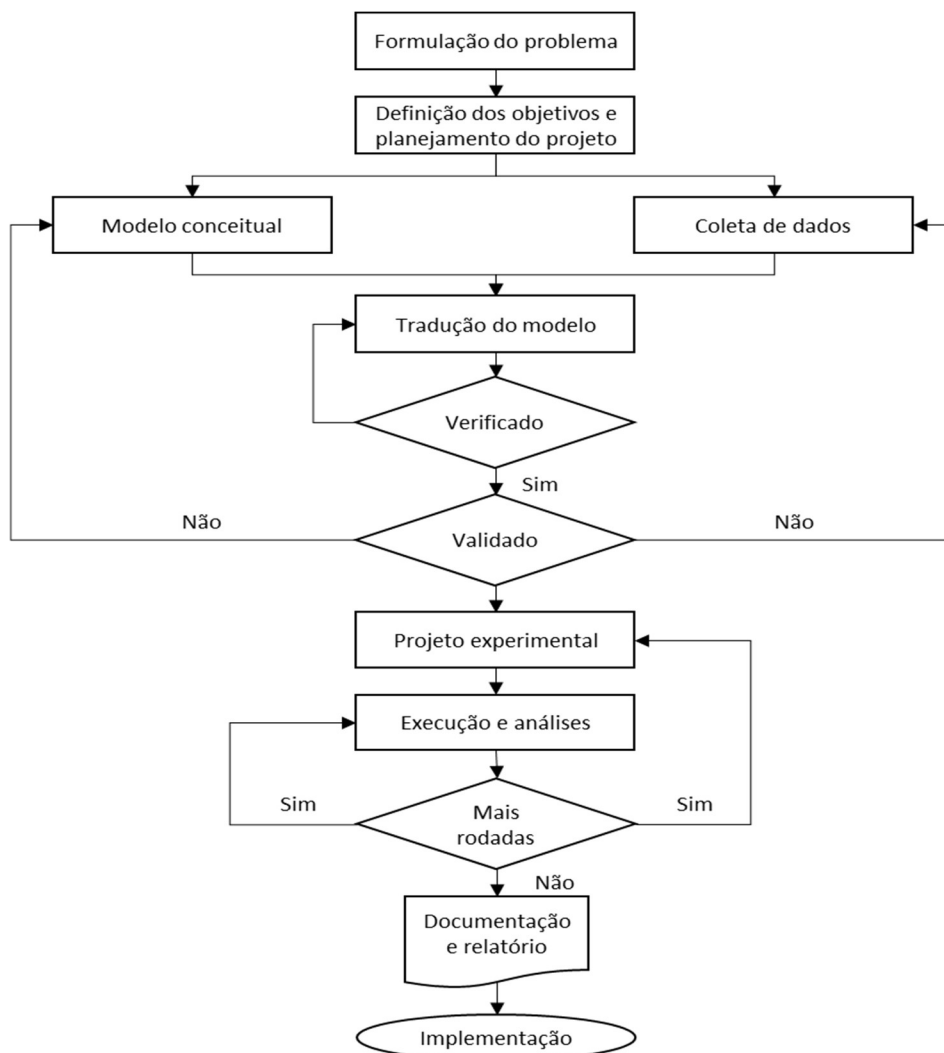
A seguir, será apresentado um conjunto de etapas para orientar o desenvolvimento de modelos em um estudo minucioso de simulação (Banks, 2000) (Chung, 2003).

- 1) Formulação de problemas: todo estudo de simulação deve começar com uma declaração do problema. Caso o a declaração não seja preparada pelo analista de simulação, ele deve tomar muito cuidado para garantir que o problema seja claramente compreendido. Agora se a declaração for preparada pelo próprio analista, é importante que o cliente entenda e concorde com a formulação.
- 2) Definição de objetivos e planejamento do projeto: os objetivos indicam as questões a serem respondidas pelo estudo de simulação. O plano do projeto deve incluir uma declaração dos diversos cenários que serão investigados.
- 3) Modelo conceitual: o sistema do mundo real sob estudo é abstraído por um modelo conceitual, com uma série de relações matemáticas e lógicas sobre os componentes e a estrutura do sistema. Recomenda-se que a modelagem comece simples e que o modelo cresça até que um modelo de complexidade adequada tenha sido desenvolvido.

- 4) Coleta de dados: identificação e coleta dos dados de entrada necessários pelo modelo. Esse processo envolve a coleta de dados de entrada, análise dos dados de entrada e seu uso no modelo de simulação.
- 5) Tradução do modelo: o modelo conceitual construído é codificado em uma forma reconhecível de computador, um modelo operacional. O objetivo da fase de tradução do modelo é traduzir o sistema em um modelo computacional que possa ser utilizado para gerar dados experimentais. Este é um processo de duas etapas. A primeira parte desse processo exige que o modelador decida que tipo de programa de computador utilizar para modelar o sistema. A segunda parte da fase de tradução do modelo é realmente realizar a programação do modelo de simulação.
- 6) Verificação: a verificação diz respeito ao modelo operacional. Verificando se ele está funcionando corretamente, sendo altamente aconselhável que a verificação ocorra como um processo contínuo. É também aconselhável que o analista de simulação só inicie o processo de verificação após todo o modelo esteja completo.
- 7) Validação: é a determinação de que o modelo é uma representação precisa do sistema real, podendo ser substituído pelo sistema real para fins de experimentação.
- 8) Projeto experimental e análises: uma vez que o modelo de simulação do sistema real tenha sido devidamente validado, o desenvolvedor pode voltar sua atenção para determinar como projetar modelos adicionais para análise experimental subsequente. Na fase de análise, são realizadas análises estatísticas comparativas das configurações alternativas.
- 9) Documentação e relatório: a etapa final do processo de simulação é escrever um relatório e criar uma apresentação sobre as recomendações e conclusões do projeto de simulação. Entender como o modelo de simulação funciona pode ser necessário caso ele seja usado novamente pelos mesmos ou diferentes analistas. Com isso, os usuários do modelo podem tomar decisões com base na análise. Além disso, caso o modelo seja modificado, a documentação adequada pode facilitar muito esse processo. Logo, resultado de toda a análise deve ser relatado de forma clara e concisa.

Fases típicas em um estudo de simulação são mostradas na Figura 4.

Figura 4 - Passos típicos no estudo através da simulação



Fonte: Banks et al., 2005

3.2.4 Estudo de simulação

O modelo de simulação é usado como uma ferramenta no gerenciamento do porto para determinar os efeitos de diversas mudanças tecnológicas, operacionais e opções de investimento para melhorar o desempenho do sistema, como tempo de espera, tamanho de fila, receita, *demurrage* e outros indicadores (UNCTAD, 1985). Dessa forma, segundo Kozan (1997) afirma que a simulação de um porto é um processo de modelagem de um sistema real e, com ela tem-se o propósito de entender o comportamento de sistemas de portos marítimos através de experimentos.

Ramani (1996) desenvolveu um modelo de simulação com o objetivo de dar suporte ao planejamento logístico de operações em um terminal de contêineres. Segundo o autor, o porto tem que lidar com a coordenação e atribuição dos diversos equipamentos como os guindastes no cais e no pátio de armazenagem para o transporte da carga do navio até essa área, sendo possível melhorar a operação. O modelo fornece estimativas de indicadores de desempenho do porto como, quantidade de navios atendidos, ocupação do berço, tempo de permanência dos navios, para várias estratégias operacionais tendo como resultado a redução do tempo de permanência do navio com as melhorias logísticas.

Com o objetivo de analisar a segurança marítima, um modelo de simulação de tráfego com sistema multiagentes foi desenvolvido para simular manobras dinâmicas de navios (Xiao, 2013). O modelo inclui infraestrutura hidrovária e influência de encontro, bem como efeitos de vento e corrente, além dos navios se comportarem como agentes autônomos. Porém, o modelo não considera diferentes composições da frota.

Outro estudo foi realizado por Silva (2011), utilizando o modelo de simulação para avaliar a capacidade operacional de um terminal portuário que opera fertilizantes. Com o objetivo de verificar a possibilidade de aumentar o volume movimentado, o autor iniciou com a simulação da situação atual, e depois levantou seis cenários diferentes. Considerando o aumento da carga a ser atendida no terminal através da alteração na frequência de chegadas de caminhões, navios e vagões. O autor chegou à conclusão de que existe a possibilidade de aumento da movimentação de carga, porém houve casos em que a demanda coloca em risco o nível de serviço do sistema portuário. Consequência essa de maiores filas, tempos de espera para atendimento e de capacidade limitada de alguns recursos.

Com o objetivo de ajudar um consultor a investigar o número de berços que um porto exigirá em alguns anos, Sheikh et al. (1987) descreveram um modelo de simulação que foi construído pela equipe de projetos da *Computer-Aided Simulation Modelling (CASM)* na *London School of Economics*. O porto em questão lida com uma variedade de cargas de entrada e saída, utilizando uma mistura de berços especializados e gerais. Algumas das complicações das regras de alocação de navios para berço são descritas. O propósito do modelo de simulação computacional era permitir que as estimativas fossem obtidas, para vários níveis de serviço, a respeito do tempo de espera dos navios.

A partir desta revisão fica claro que muitas aplicações são realizadas em diferentes campos marítimos: projeto portuário, avaliação de riscos, simulação de terminal de contêineres e simulação de atividade portuária. Neste trabalho será explicado o desenvolvimento de um modelo de simulação que pode ser considerado como uma ferramenta de apoio à decisão de gestão portuária que auxilia em: estudo, compreensão, valorização das atividades portuárias, planejamento da capacidade portuária, melhoria da produtividade portuária, estudo de expansão da capacidade portuária e estimativa das necessidades futuras portuárias.

3.3 Software Anylogic

AnyLogic é um ambiente de programação e simulação, visando principalmente a modelagem de sistemas híbridos, baseados em JAVA. Permite ao usuário combinar diferentes técnicas e abordagens, como equações diferenciais, eventos discretos e sistemas baseados em agentes. Essas possibilidades de combinação fazem dele uma ferramenta muito interessante para simulação de sistemas complexos (Emrich, Suslov, & Judex, 2007).

A linguagem de modelagem é flexível, o que torna mais fácil para o usuário cativar a complicação e variedade de sistemas econômicos, empresariais e sociais a qualquer nível de detalhes particulares. A *interface* gráfica da AnyLogic, objetos de biblioteca e a ferramenta ajudam o usuário a desenvolver modelos em diversas áreas como logística e fabricantes; fluxos de negócios, comportamentos do consumidor e do paciente e recursos humanos (Anylogic, 2021). Este software beneficia muito engenheiros, gestores de recursos humanos, analistas da cadeia de suprimentos e planejadores estratégicos.

Entre as características da biblioteca disponível, temos (Anylogic, 2021):

- Permite modelar um sistema complexo, dividindo-o em partes menores e representando-os separadamente em diferentes componentes.
- Ela pode ser usada em modelos baseados em agentes e modelos de sistemas dinâmicos. Por exemplo, todas as entidades e recursos podem servir como agentes, tendo comportamentos individuais e influenciando o processo simulado.
- Os elementos da biblioteca são compatíveis com os componentes de outras bibliotecas em um fluxograma.

- As estatísticas durante a execução do modelo podem ser registradas automaticamente no tempo de espera, tempo de produção, taxa de utilização de recursos e outros parâmetros.
- Os usuários podem validar um modelo dinâmico com animação, o que permite que eles vejam gargalos de processo e destaquem os resultados. As animações podem ser hierárquicas com várias visualizações 2D ou 3D

Neste estudo, o AnyLogic é utilizado para a simulação das operações de um terminal portuário possibilitando a sua avaliação.

3.4 Estudos de capacidade

A simulação tem sido amplamente utilizada como uma ferramenta para avaliar a capacidade dos portos e identificar possíveis gargalos ou pontos de engarrafamento. Além disso, a simulação também é uma ferramenta valiosa para o planejamento de investimentos em infraestrutura portuária.

No trabalho realizado por de Faria (2012), o autor utilizou a simulação para a avaliação da capacidade de transporte de um sistema ferroviário que liga uma mina até um porto. Foram consideradas a relação dos elementos de infraestrutura (malha ferroviária, terminais e pátios de cruzamento) e as composições de trens (de passageiros, minério e carga geral). O modelo foi desenvolvido em Arena ®, o qual foi utilizado para avaliar diversos cenários para verificar qual a capacidade máxima do sistema alterando o número total de trens transportando minério de ferro na malha, sem alterar a quantidade daqueles transportando passageiros e carga geral. Com esse estudo, chegou-se à um número de trens de minério em circuito fechado, porém a capacidade máxima alcançada encontra-se bem próxima ao transporte realizado atualmente. Sendo necessário um investimento futuro para aumentar esse limite.

Lin, Gao e Zhang (2014) realizam um estudo que concentra em resolver um problema de planejamento financeiro para um terminal de contêineres no Porto de Humen utilizando a ferramenta de simulação Arena. Foi proposto um modelo que leva em consideração vários tipos de navios e guindastes de contêineres, alocação flexível de berços e programação dinâmica de guindaste. Foram realizadas simulações de diversos cenários para encontrar

uma configuração de parâmetros que possa minimizar os custos totais, sem comprometer o nível de serviço. Foi proposto um plano visando a economia e outro a capacidade, chegando a conclusão de que é possível reduzir o tempo de permanência médio dos grandes navios com a inclusão de novos guindastes, além do plano econômico poder reduzir 18,75% dos custos em relação ao investimento atual sendo suficientemente robusto para lidar com mudanças na frequência de chegada de navios.

Um modelo de simulação construído por Demirci (2003) para analisar as operações do Porto de Trabzon, especialmente para planejamento de investimentos. O projeto de pesquisa investigou pontos críticos ao aumentar a demanda do terminal e foram adicionados novos equipamentos portuários nos cais que apresentassem essa evidência. Como parte da estratégia de investimento, somente três veículos de carga/descarga puderam ser adicionados devido às restrições econômicas. O modelo foi executado nestas condições e mostrou uma redução de quase oito dias no tempo de permanência dos navios e uma diminuição no número de navios e no tempo gasto esperando na fila. Como resultado, o desempenho do porto foi avaliado com estratégias alternativas e foi visto como o sistema se comportaria. No entanto, o investimento em um porto aumenta os custos e o modelo de simulação pode ser usado como ferramenta de apoio à decisão para analisar e avaliar o desempenho do porto pelo gerenciamento do porto.

Outro projeto realizado em Arena[®] por Borges et. al. (2008) teve como objetivo comparar as diferentes opções de investimento para um futuro porto da ArcelorMittal Tubarão, que será utilizado para receber carvão e despachar produtos de aço. O estudo visa avaliar a capacidade de diferentes combinações de equipamentos e instalações para alcançar a capacidade operacional desejada com o menor investimento possível, considerando diferentes cenários do mercado. As escolhas de alternativas podem variar em milhões de dólares americanos e incluir opções como a aquisição de mais equipamentos ou guindastes ou a construção de mais berços. O modelo permitiu à ArcelorMittal Tubarão encontrar as alternativas de investimento que alcançam a capacidade esperada, enquanto mantém os custos de *demurrage* limitados em todos os cenários e minimizando o investimento necessário também.

Wibowo, Hidayatno e Moeis (2015) discutem a expansão do terminal de contêineres internacional de Jakarta (JICT), que é o principal porto internacional da Indonésia e está

superlotado. Através de uma abordagem de modelagem baseada em agentes, diversos planos de expansão foram considerados e simulados. Isso atuará como uma análise auxiliar para o decisor escolher um dos planos ou renegociá-los para alcançar resultados que apoiem os objetivos do JICT. As alternativas propostas incluem o uso de dois canais distintos, um para tráfego de entrada e outro para saída. Atualmente, apenas um canal é utilizado para ambos os tipos de tráfego, o que requer que os navios façam manobras e esperem até que esteja completamente livre antes de continuar seu trajeto. O novo sistema proposto permite que os navios possam utilizar estes canais sem precisar esperar que fiquem completamente vazios. Em vez disso, a espera é baseada na distância, o que significa que o tempo de espera para o canal é significativamente reduzido.

Arruda (2008), apresentou uma metodologia para a avaliação de capacidade de terminais de contêineres utilizando a simulação e indicadores de desempenho. Realizando um estudo de caso no Porto de Fortaleza, utilizando o *software* Arena ®, considerando a capacidade de armazenamento de forma determinística e o atendimento dos navios, mas sem considerar o acesso terrestre. Com esse modelo, foram avaliados diversos cenários transformando um dos berços em atendimento exclusivo de contêineres, melhorando a eficiência dos equipamentos, troca deles por outro maior capacidade, inclusão de um novo berço exclusivo para contêineres e inclusão de mais guindastes. O resultado foi que o maior ganho de capacidade do terminal foi obtido com a melhoria da eficiência das operações de embarque/desembarque e o aumento da quantidade de berços. Sendo o melhor cenário aquele com a inclusão de mais 2 berços exclusivos com dois equipamentos de carga/descarga de contêineres cada, mantendo o tempo médio de espera abaixo das 6 horas.

Em resumo, a simulação tem mostrado ser uma ferramenta valiosa para a tomada de decisão de investimentos portuários, permitindo avaliar diferentes cenários de investimento e identificar opções de investimento mais eficientes em termos de capacidade e custo.

3.4.1 Modelo conceitual de um *framework* do planejamento da capacidade de um porto

No porto, um dos desafios mais críticos é o problema de congestionamento, de acordo com Novaes et al. (2012). As empresas de transporte marítimo têm uma grande preocupação com os custos logísticos e o tempo de espera que são afetados pelos atrasos. Entretanto, como os

custos relacionados aos atrasos são influenciados pelas cargas transportadas, a aversão ao tempo de espera pode variar de acordo com a linha de navegação, como indicado por Blauwens et al. (2016) e De Borger et al. (2008). Em função disso, os portos tendem a evitar esse problema para se manterem competitivos em relação aos concorrentes próximos que não sofrem com isso.

Para evitar congestionamentos nos portos, existem duas possíveis soluções: uma é aumentar os preços para reduzir a demanda, como indicado por Xiao et al. (2013), enquanto a outra é investir em capacidade adicional para lidar com o aumento da demanda, conforme sugerido por Meersman e Van de Voorde (2014) e Xiao et al. (2012). Chang et al. (2012) propuseram uma abordagem econômica para equilibrar os elementos de capacidade de um porto, considerando explicitamente os custos do tempo de espera e os objetivos dos proprietários dele. No entanto, segundo por Alderton (2008), a decisão de investimento é complexa, pois há um *trade-off* entre investir em capacidade desnecessária ou enfrentar a possibilidade de perder usuários para outros portos próximos. Além disso, segundo Wan et al. (2013), o investimento em capacidade adicional pode aumentar a demanda no próprio porto, mas reduzir a dos concorrentes. Assim, a concorrência também afeta essa decisão, conforme Huisman e Kort (2015) e Xiao et al. (2012). Portanto, os portos precisam considerar as decisões de investimento de seus concorrentes para evitar o aumento desnecessário da capacidade, como discutido por Huberts et al. (2015).

A tomada de decisão sobre a capacidade de um porto torna-se mais complexa devido à incerteza da demanda enfrentada (Vilko e Hallikas, 2012; Huisman e Kort, 2015). Balliauw et al. (2018) identificaram diversas fontes de incerteza, incluindo a crise financeira global, decisões incertas de atores da cadeia logística, mudanças tecnológicas, ambientais e regulatórias. Para avaliar adequadamente o valor de diferentes tipos de flexibilidade gerencial na decisão de investimentos em capacidade, em um ambiente competitivo e incerto, modelos de opções reais têm sido amplamente explorados na literatura (Dixit e Pindyck, 1994; Bar-Ilan e Strange, 1996; Dangl, 1999; Aguerrevere, 2003; Hagspiel et al., 2016), em conjunto com a modelagem teórico-jogo (Azevedo & Paxson, 2014). Herder et al. (2011) enfatizaram a importância de se considerar o valor da flexibilidade nos investimentos portuários para lidar com a incerteza. Portanto, modelos de opções reais são essenciais, uma vez que métodos tradicionais de fluxo de caixa descontado, como a regra do valor presente líquido, não conseguem explicar o valor dessa opção (Trigeorgis, 1996).

Os investimentos em portos só são totalmente viáveis se o seu financiamento for organizado e se seus benefícios econômicos forem maiores que seus custos. A necessidade de tornar um projeto viável, levando em conta os interesses comerciais e públicos do porto (Dekker et al., 2004; Dekker e Verhaeghe, 2006), motiva o desenvolvimento de uma metodologia apropriada para planejar a capacidade de um porto, a fim de integrar esses interesses. Um quadro conceitual para esse planejamento é discutido abaixo.

Essa decisão pode influenciar a capacidade oferecida, seja por meio de melhorias nos serviços ou expansão física do terminal. A interação entre oferta e demanda gera um ponto de equilíbrio que, junto com os custos, determina o preço do serviço. Esse valor, por sua vez, impacta na posição competitiva do porto na rede de transporte. Do ponto de vista financeiro, as receitas geradas ao longo do projeto de investimento portuário, que podem ser complementadas por financiamento público, devem ao menos equilibrar as despesas.

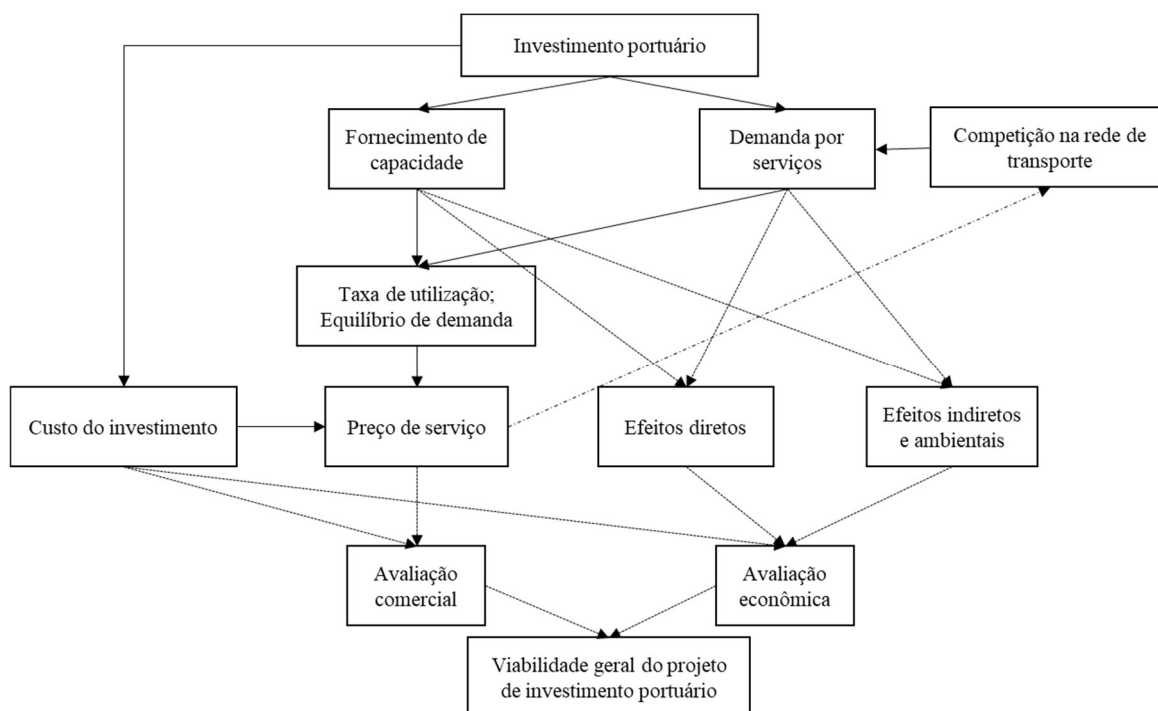
Tradicionalmente, as autoridades portuárias planejavam, construíam e mantinham os portos por meio de recursos públicos para impedir que empresas privadas monopolizassem a infraestrutura. Contudo, a partir da década de 90, houve um aumento significativo da participação do setor privado na construção portuária, permitindo a recuperação do investimento por meio de tarifas pelo uso do porto. A contribuição do financiamento público se baseia nos possíveis impactos econômicos indiretos e externos desse investimento.

A avaliação da viabilidade geral de um projeto de investimento portuário requer uma distinção entre a avaliação comercial, que foca na perspectiva privada (financeira), e a avaliação econômica, que se concentra na perspectiva do bem-estar nacional. Para a avaliação comercial, os custos diretos e o preço do serviço são entradas importantes. Já a avaliação econômica considera efeitos adicionais, como os efeitos indiretos e externos, que são determinados pela correspondência entre a oferta de capacidade e a demanda pelos serviços em mercados relacionados, além das mudanças nos excedentes dos produtores e consumidores. Os efeitos externos, por sua vez, dizem respeito aos impactos no bem-estar que vão além do mecanismo de oferta e demanda.

Segundo Dekker (2005), o planejamento da capacidade do porto, que essencialmente se refere à tomada de decisões sobre o investimento, deve abordar as seguintes seis questões: 1) qual é a demanda esperada por serviços em termos de tipos e volumes de fluxos de transporte; 2) qual é a oferta exigida de capacidade em termos de características físicas

(tamanhos e números) e características de serviço (tarifas e produtividades); 3) qual é a taxa de utilização e o equilíbrio de demanda; 4) quais são os custos de investimento e preços de serviço; 5) quais são os benefícios econômicos; e 6) qual é a viabilidade geral do projeto de investimento no porto. Esses componentes estão incluídos em um diagrama de fluxo para o planejamento da capacidade de um porto, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Planejamento da capacidade de um terminal portuário



Fonte: Adaptado de Dekker et al., 2004; Dekker and Verhaeghe, 2006

Ao responder essas questões de maneira sistemática, os gerentes de porto podem tomar decisões que levam em conta os interesses comerciais e públicos, garantindo o sucesso e a viabilidade de seus investimentos em portos.

4 DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMILAÇÃO

Nesse capítulo será apresentado primeiro o estudo de caso e então as premissas adotadas no desenvolvimento do modelo, assim como as limitações que ele apresenta. Os dados de entrada, modelagem dos processos representados pelo modelo de simulação também são descritos.

4.1 Terminal Portuário em estudo

No caso do terminal em questão, serão consideradas as cargas: Soja, Farelo, Milho, Celulose em fardos, produtos siderúrgicos e fertilizantes. As cargas serão numeradas em:

1. Soja;
2. Milho;
3. Farelo;
4. Siderúrgico Bobina;
5. Siderúrgico Vergalhão;
6. Celulose; e
7. Fertilizantes;

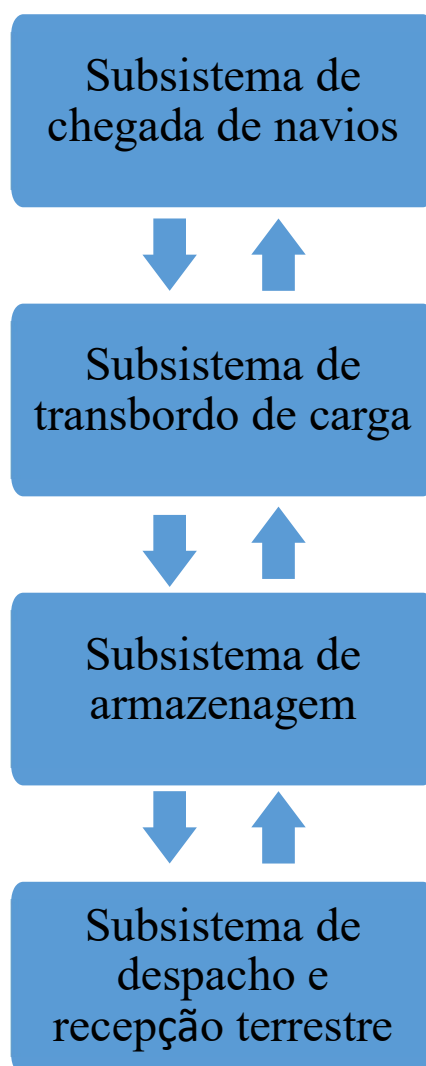
Como veículos tem-se: navios/barcaças dedicados para cada tipo de carga, com diferentes portes e características; trens/vagões e caminhões, igualmente especializados por tipo de carga. Os tamanhos dos navios já foram apontados pelo terminal.

A área total do terminal é de aproximadamente 6,6 hectares. O terminal conta com um píer com 52 m de largura e três berços de atracação, um berço interno 1, um berço interno, 2, que somam 384 m de extensão e o berço 3, externo, com 264 m de comprimento.

4.2 Modelo conceitual

Nesta modelagem será utilizada a Figura 6 como base para descrever os componentes, subsistemas e o sistema terminal avaliado de forma global e integrada.

Figura 6 - Representação de um terminal portuário integrado



Fonte: Autor

A seguir cada subsistema será apresentado, iniciando pela descrição da modelagem do subsistema de chegada de navios.

A. Subsistema de chegada de navios

Este subsistema contempla desde a chegada de cada navio até o instante anterior ao início de sua operação já devidamente atracado.

As atividades desse subsistema estão sequenciadas na seguinte ordem:

- 1) Navios de cada tipo de carga são gerados consecutivamente até atingirem o número previsto que transporte a demanda esperada para o período de simulação considerado. Essa geração de um mesmo tipo de carga pode contemplar embarcações com portes diferentes. Segundo Olba *et al.*, (2015), o processo de chegada de navios pode ser abordado utilizando a distribuição exponencial, de Poisson, Erlang-1 ou baseada em dados históricos. No modelo desenvolvido nessa dissertação, para o intervalo entre chegadas consecutivas foi considerado a distribuição exponencial, que é observada como prática do Transporte Marítimo Internacional. Sendo ela mais conservadora e pode apresentar níveis de fila maiores que a realidade em alguns terminais que conseguem controlar a chegada de navios. Para os granéis, fertilizantes e exportação de celulose recomenda-se a distribuição exponencial. Para a cabotagem pode ser usada outra distribuição com menor variância, se os dados disponíveis aderirem;
- 2) Os navios entram em fila esperando pelo(s) cais disponível(eis) que podem receber essa carga (cada carga pode ser configurada para cada berço). O regime de atendimento será FIFO (*First-in First-Off*) para o mesmo tipo de carga. Entre cargas diferentes que competem pelo mesmo cais, pode-se determinar qual navio tem prioridade no atendimento, cuja ordem de prioridade já foi apontada pelo terminal.

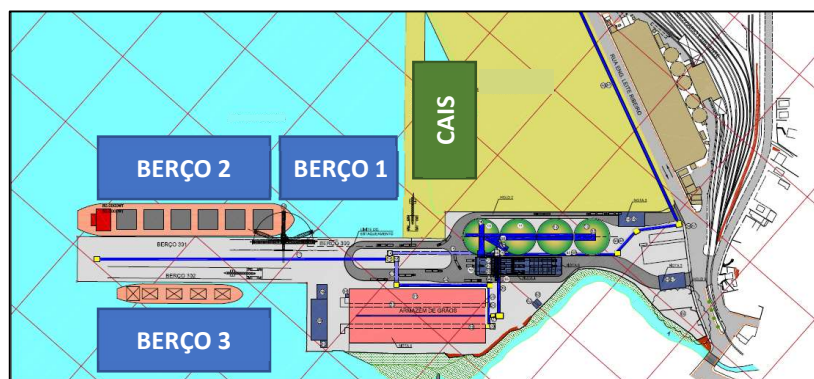
Por exemplo:

- No terminal existe uma fila com vários navios aguardando o atendimento de uma embarcação qualquer no cais. Se a carga principal e prioridade de atracação do terminal for siderúrgico Bobina, mesmo que o próximo navio em fila seja graneleiro, o primeiro siderúrgico Bobina é quem será atendido na liberação do cais.

Tal prioridade deve ser definida pelo terminal e esse parâmetro será novamente abordado na listagem de dados necessários.

A escolha do local de atracação do navio é feita com base na indicação de possíveis locais que possam receber aquele tipo de operação (tamanho do navio e carga). Na Figura 7 são apontados 2 navios, um no berço 2 (interno) e outro no berço 3 (externo).

Figura 7 - Visão superior do terminal



Fonte: Autor

A regra de ocupação resumidamente é a seguinte:

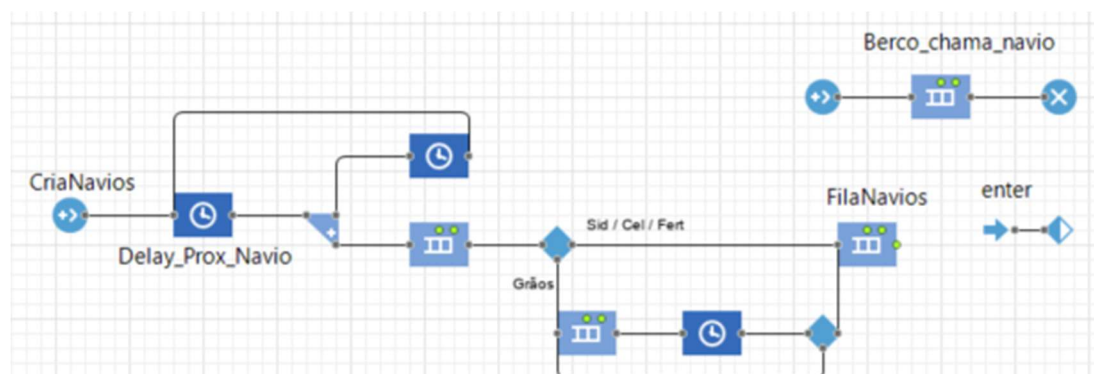
- Berço 1 – para receber navios menores de todas as cargas exceto grãos. Ressalta-se que a manobra nesse berço depende de não haver navios no cais e a escolha por sua utilização é feita pela gestão do terminal. Não existe perspectiva de alteração das políticas operacionais atuais (Autoridade Portuária quem definiu as regras). Resumindo, sua ocupação é condicionada ao navio atracado no 2 ser um *Handy Size* a uma probabilidade. Essa última restrição deve refletir inicialmente um histórico, mas que poderá aumentar e refletir ganhos de capacidade do terminal, possibilitando que as negociações com a Autoridade Portuária e os resultados de simulações hidrodinâmicas permitam relaxar as restrições atualmente lá existentes (como por exemplo, respeitar 180 metros do final do navio atracado no berço 2 até o cais ilustrado na Figura 7);
 - Berço 2 – preferencialmente para Grãos em função do carregador de navio a ser lá instalado, mas que pode receber também qualquer das outras cargas e portes de navios até Panamax;
 - Berço 3 – externo com uso preferencial para siderúrgicos, mas cujos navios podem também ocupar o 1 e o 2. Celulose e Fertilizantes poderiam também atracar no 3, mas em janelas sem navios siderúrgicos. Grão não utilizarão esse berço.
- 3) Havendo berço disponível, o navio sai da fila se puder transpor as restrições de maré ou canal (se existirem e forem definidas pelo terminal). Por exemplo, o navio de fertilizantes e de classe Panamax só entra em estofo de maré alta e, portanto, em janelas de 2 horas centradas a cada 12 horas do dia; ou se o canal tiver mão única,

ele fica bloqueado caso um navio esteja navegando, ou seja, só entra se não houver outro saindo. Havendo restrição do calado em decorrência da maré junto a barra, explicitar se o navio poderá esperar ao longo do canal em alguma bacia para fundeadoiro. Os navios graneleiros (mono carga de soja, milho ou farelo) não atracarão se toda carga não estiver disponível nos silos ou nos armazéns;

- 4) Ao sair da fila o navio executa manobras de navegação e atracação até o cais. Será usado um tempo médio e uma distribuição com seus parâmetros que represente todo o processo de atracação;
- 5) Uma vez atracado, o navio se submete um tempo médio, com uma distribuição e seus parâmetros para representar a pré-operação do navio antes de iniciar a movimentação de carga.

Esse subsistema, no modelo está representado através de blocos e linhas de lógica para representar essas características operacionais descritas. A Figura 8 apresenta a modelagem no ambiente do Anylogic.

Figura 8 - Chegada de navios no Anylogic



Fonte: Autor

B. Subsistema de transbordo de carga

Este subsistema contempla as operações em cada cais do terminal disponível e que recebe um ou mais tipo de carga.

As atividades desse subsistema estão sequenciadas na seguinte ordem:

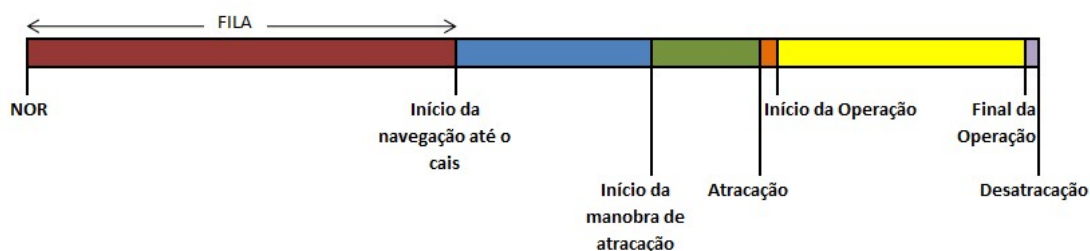
- 1) Navios com cargas que não são armazenadas no terminal terão seu tempo de movimentação representados por um tempo médio, com uma distribuição e seus parâmetros e nesse período caminhões serão gerados e virão até o costado trazendo ou retirando essa carga. A quantidade de caminhões que opera junto a um navio é

um dado de entrada do modelo de simulação para navios de siderúrgicos, celulose e fertilizantes. Não será representada qualquer paralisação dessas atividades e, portanto, o tempo médio dessa movimentação deve incluir a quantidade de ternos, de turnos de trabalho, de paradas de qualquer espécie, visto que não é objetivo dessa modelagem analisar esse tipo de navio/carga. Os caminhões acima citados serão mais detalhadamente analisados no subsistema de chegada terrestres pois competem por portaria, balanças de entrada e de saída do terminal;

- 2) Navios com soja, farelo e milho terão seu carregamento baseado numa taxa efetiva de carregamento que é função do carregador de navio a ser lá instalado e esse tempo será discretizado de hora em hora. A cada hora é verificada a ocorrência de chuva que pode paralisar o carregamento retomando assim que a chuva acabar.
- 3) Terminada a carga do navio, haverá uma operação de pós-operação representada por um tempo médio, com uma distribuição e seus parâmetros;
- 4) Terminada a pós-operação o navio executa manobras de desatracação e navegação até a liberação do cais para outro navio. Será usado um tempo médio e uma distribuição com seus parâmetros que represente todo o processo de desatracação. A maré na saída bem como o trânsito no canal também deve ser respeitada se para a classe de navios e carga do navio assim estiver indicada como sujeita a esses fatores. Havendo restrição do calado em decorrência da maré junto a barra, explicitar se o navio poderá desatracar e esperar ao longo do canal em alguma bacia para fundeadouro;
- 5) Finalmente, depois da saída do navio toda sua linha de tempo junto ao terminal é gravada, as estatísticas de fila e de ocupação são obtidas;

A Figura 9 ilustra a linha de tempo do navio junto ao terminal.

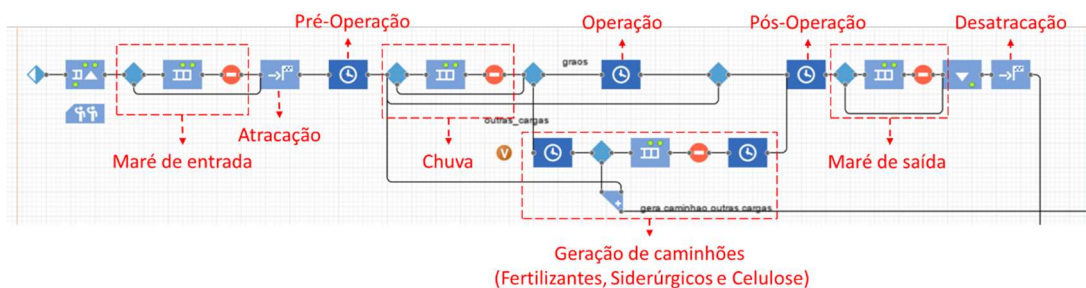
Figura 9 - Linha de tempo do navio



Fonte: Adaptado de (de Oliveira Mota & Botter, 2020)

O atendimento dos navios em um berço no modelo é ilustrado na Figura 10 abaixo, sendo nela apresentada as restrições de maré de entrada, atracação, pré-operação, interferências de chuva, geração de caminhões, operação, pós-operação, restrições de maré de saída e desatracação.

Figura 10 – Operações e restrições dos navios no Anylogic



Fonte: Autor

C. Subsistema de armazenagem

Este subsistema contempla silos e armazéns para Soja, Farelo e Milho e faz a interligação entre os subsistemas. A configuração da bateria de silos conforme definido no estudo de *trade off* específico e o armazém. A segmentação do armazém por meio de paredes móveis que permitem armazenar diferentes tipos de carga, deve ser indicada na planilha de dados; Na primeira fase do projeto (armazenagem em silos) não haverá operação de farelo. A sazonalidade dos produtos deverá ser considerada conforme já indicado pelo terminal.

As atividades desse subsistema estão sequenciadas na seguinte ordem:

- 1) Para um determinado navio são escolhidos uma quantidade de silos ou armazém compatíveis com a carga, com a quantidade necessária para carregar o navio e que estejam vazios;
- 2) Neles as cargas trazidas por caminhões ou comboios ferroviários são depositadas;
- 3) Deles as cargas são retiradas pelos navios;

- 4) As estatísticas de estoques médios e de giro são computadas;

D. Subsistema de despacho e recepção terrestre

Este subsistema contempla a chegada de caminhões com diferentes tipos de cargas e comboios ferroviários com granéis.

As atividades desse subsistema para caminhões estão sequenciadas na seguinte ordem:

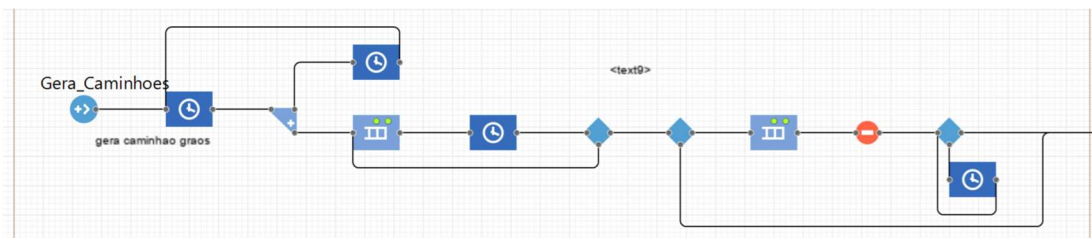
- 1) São gerados caminhões de fertilizantes, de siderúrgicos e de celulose a partir do momento que o navio já está atracado e com o início de operação autorizado (fim da pré-operação);
- 2) São gerados caminhões de granéis vegetais com antecedência mínima e máxima em relação ao navio designado para aquele lote de carga;
- 3) Os caminhões saem de um ponto de espera (que pode ser FIFO ou segregado por carga), alinham-se em até X caminhões antes de acessarem um dos *gates*, depois da portaria alinham-se em Y caminhões antes de cada balança de entrada e depois de pesar entra no terminal limitados a Z caminhões dentro do terminal. Z caminhões dependem se são de grãos ou de outras cargas. Depois se dirigem ao cais onde está o navio. Para granéis os caminhões esperam para ser atendidos em um dos 2 tombadores ou esperar em fila antes desses (com a previsão da instalação de mais 1 tombador, a ser confirmado sua necessidade por este estudo de simulação dinâmica). Dos tombadores são adicionadas carga para os silos ou armazém a uma taxa efetiva de produtividade (toneladas por hora). Será considerado que os caminhões não são afetados pela ocorrência de chuvas. Para os demais caminhões com outras cargas, eles percorrem depois da balança de entrada um ciclo pelo terminal, passam pelas balanças de saída e portaria. Para os caminhões de granéis, depois de descarregarem passam também pelas balanças de saída e pela portaria. Nas balanças e *gates* de saída também são formadas filas de caminhões;
- 4) Haverá a modelagem da interferência da linha férrea na frente a portaria que pode impactar na entrada e na saída de caminhões do terminal. Para tanto, o fluxo de todos os comboios ferroviários que passam na frente do terminal por dia, movimentados pela administradora ferroviária, e o tempo de interrupção são informados. A modelagem consiste num “farol” que fecha as portarias do terminal durante a passagem do comboio ferroviário. Quando fechada, poderá haver a interrupção de

descarga de granéis por falta de caminhões se a fila formada dentro do terminal for esgotada pelos tombadores;

- 5) São computados os tempos de espera para os caminhões de granéis serem descarregados, as estatísticas de fila e de ocupação junto aos tombadores, assim como para todos os caminhões do sistema são computadas as estatísticas de fila e de ocupação de portaria e de balança;

Na Figura 11, temos a geração dos comboios que ficarão esperando espaço no terminal no modelo.

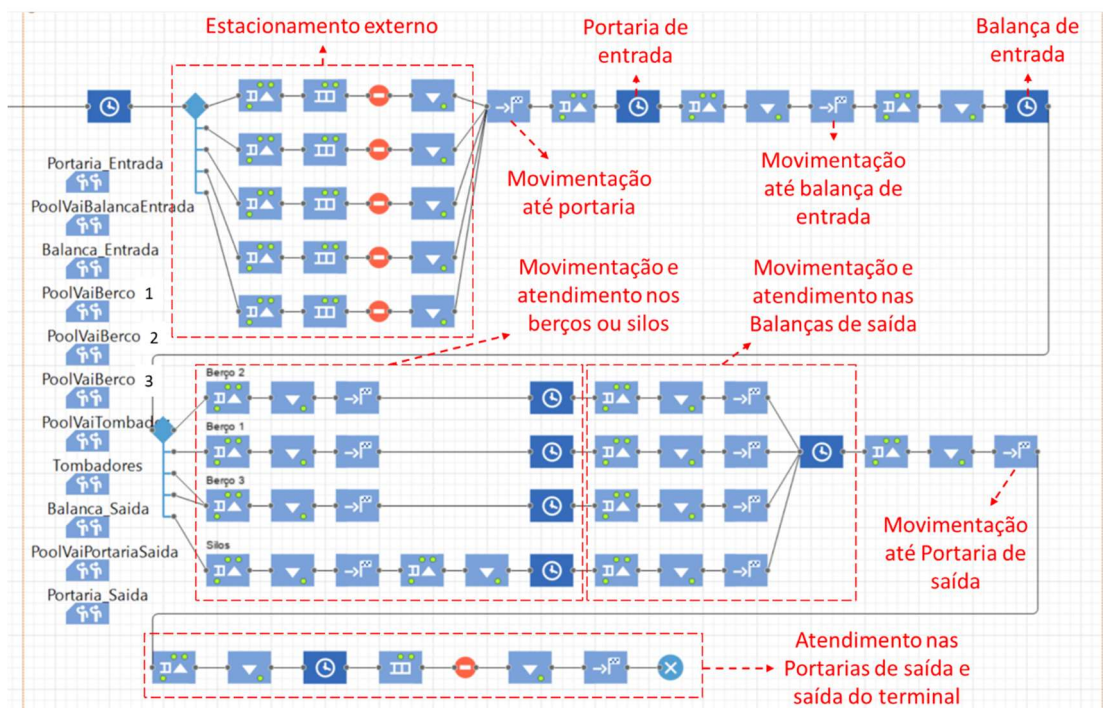
Figura 11 - Geração de caminhões no Anylogic



Fonte: Autor

Os processos que os caminhões passam dentro do terminal foi modelado e o sistema é apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Operações dos caminhões dentro do terminal no Anylogic



Fonte: Autor

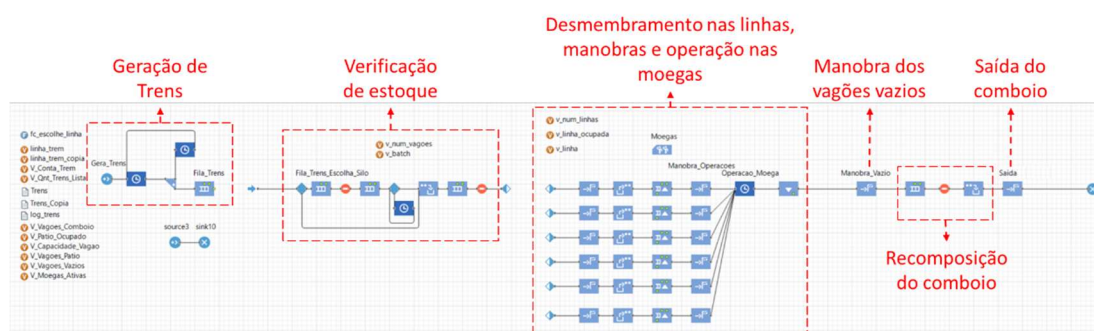
As atividades desse subsistema para comboios ferroviários estão sequenciadas na seguinte ordem:

- 1) São gerados comboios ferroviários de graneis vegetais com antecedência mínima e máxima em relação ao navio designado para aquele lote de carga. Muito embora a administradora ferroviária movimente para dentro de outro terminal um comboio que pode ter vagões com cargas destinadas a outros terminais, nessa modelagem é considerado somente a quantidade entregue ao terminal desse projeto, assim como a frequência de entrega de vagões. Conforme informado pela administradora, a quantidade de vagões destinado ao terminal deverá estar conforme a capacidade de alocação das linhas, não superior a 40 vagões (quantidade desejada). Esta quantidade de vagões será uma variável do modelo cujo valor pode ser testado em diferentes cenários;
- 2) Os comboios destinados ao terminal são desmembrados em conjuntos de vagões e posicionados em linhas ferroviárias paralelas, inicialmente com 13/13/14 vagões cada conjunto. Entretanto, a subdivisão dos lotes poderá sofrer variações de acordo com o arranjo final das linhas de manobras;
- 3) Cada conjunto de vagões é levado ao ponto de descarga que descarrega até 3 vagões por vez (3 moegas). Das moegas são adicionadas carga para os silos ou armazém a uma taxa efetiva (toneladas por hora). Indicar se esse sistema é afetado por interrupções por ocorrência de chuvas;
- 4) Terminada a descarga, esse conjunto de vagões é posicionado numa linha de vagões vazios a espera dos demais conjuntos para recompor o comboio destinado ao terminal e posteriormente entregue de volta à administradora ferroviária;

São computados os tempos de espera, de manobras para os conjuntos de vagões, assim como o tempo total da operação;

No Anylogic, a geração de comboios ferroviários, assim como as lógicas de verificação de estoque no terminal e todos os processos de desmembramento, manobras, operação nas moegas, recomposição dos comboios e sua saída são apresentados na Figura 13.

Figura 13 - Operações ferroviárias no Anylogic



Fonte: Autor

4.3 Premissas

Várias suposições foram consideradas ao desenvolver o modelo de simulação conforme listado abaixo:

- 1) Os espaços de espera em todas as pistas dentro do porto são projetados como filas.
- 2) Os tempos de serviço são em sua maioria estocásticos com algumas exceções de entradas determinísticas.
- 3) Todos os caminhões de entrada são considerados do mesmo comprimento, ao contrário do cenário real.
- 4) A velocidade dos caminhões foi dada em relação ao tempo, calculado com base na distância percorrida.
- 5) Alguns dados foram simplificados, como os tempos de manutenção preventiva e corretiva, quebras e outros fatores. Esses pontos foram considerados dentro dos tempos de operação e produtividade dos equipamentos e processos.
- 6) O terminal portuário opera 24 horas por dia nos 7 dias da semana.

4.4 Limitações do modelo

O modelo apresenta limitações na sua utilização e serão listadas nessa seção.

- Não existe um foco na análise financeira como custos de equipamentos, mão-de-obra entre outros. Porém, resultados como os de *demurrage* e *dispatch* podem ser calculados após as simulações a partir dos dados dos *outputs*.
- O modelo não está preparado para trabalhar com cenários em que são movimentados outros tipos de carga como contêineres, que envolvem processos característicos específicos como o de manuseio e armazenagem.

4.5 Dados de entrada

Os dados a serem utilizados já foram enviados pelo terminal. Para tanto foram preenchidas abas de uma planilha EXCEL enviada anteriormente, sendo as abas existentes apresentadas com mais detalhes no Apêndice A:

- Demanda não sazonal
- Demanda Sazonal
- Dados de cais
- Dados de trens
- Dados caminhões
- Outros dados
- Dados de Silos-Armazéns
- Indicadores – Os indicadores são respostas do simulador e foram discutidos com o terminal.

1) Demandas (*Ramp-up*)

A Tabela 1 apresenta as demandas projetadas para serem atendidas no terminal entre os anos de 2023 e 2029. Tais demandas deverão ser testadas no modelo de simulação, com o objetivo do dimensionamento do terminal através de diferentes cenários.

Tabela 1 - Matriz de cargas (mtpa)

	DEMANDA [toneladas] (INPUT)						
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Soja	575,386	1,398,416	1,763,635	1,913,544	2,028,181	2,072,271	2,204,544
Milho	207,614	504,584	636,365	690,456	731,819	747,729	795,456
Farelo	-	-	-	868,000	1,840,000	1,880,000	2,000,000
Siderurgico (vergalhão)	155,000	178,000	200,000	150,000	150,000	150,000	150,000
Siderurgico (bobina)	2,398,000	2,599,000	2,800,000	2,800,000	2,800,000	2,800,000	2,800,000
Celulose	368,000	384,000	400,000	300,000	300,000	300,000	300,000
Fertilizantes	600,000	700,000	800,000	735,000	670,000	600,000	600,000
Total	4,304,000	5,764,000	6,600,000	7,457,000	8,520,000	8,550,000	8,850,000

Fonte: Terminal Portuário

2) Distribuição da safra de grãos em função da sazonalidade

Como foi dito, os grãos possuem a característica da sazonalidade, essa influência é definida através da distribuição da demanda anual nos 12 meses utilizando de uma porcentagem. Esses valores de porcentagem foram fornecidos e são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Distribuição da safra de grãos em função da sazonalidade

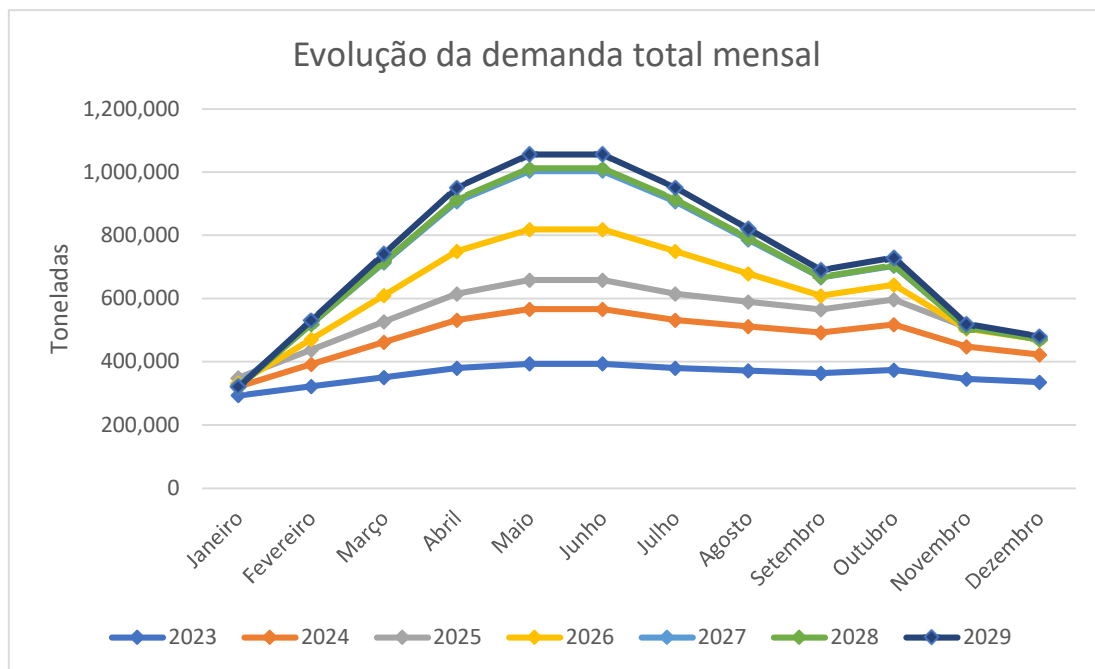
	Soja	Milho	Farelo
Janeiro	0.00%	0.00%	0.00%
Fevereiro	5.00%	0.00%	5.00%
Março	10.00%	0.00%	10.00%
Abril	15.00%	0.00%	15.00%
Mai	17.50%	0.00%	17.50%
Junho	17.50%	0.00%	17.50%
Julho	15.00%	0.00%	15.00%
Agosto	10.00%	10.00%	10.00%
Setembro	5.00%	20.00%	5.00%
Outubro	5.00%	25.00%	5.00%
Novembro	0.00%	25.00%	0.00%
Dezembro	0.00%	20.00%	0.00%
Total	100.00%	100.00%	100.00%

Fonte: Terminal Portuário

A demanda mensal é influenciada negativamente devido à essa característica sazonal dos grãos, sendo exigida uma capacidade de atendimento maior em certas épocas do ano. De

forma a ilustrar esse impacto, a Figura 14 deixa visível a menor demanda no começo e no final do ano e a maior concentração entre eles, tendo o seu pico nos meses de maio e junho.

Figura 14 - Evolução da demanda mensal



Fonte: Autor

3) Frota de navios

A demanda anual prevista será transportada por embarcações e a definição de quais classes serão consideradas foram definidas. Os dados da distribuição de classe de navios para cada tipo de produto a serem considerados inicialmente estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Distribuição da frota de navios

	<i>DWT</i> Min	20,000	40,001	50,001	148,024	181,578	220,000	350,001
	<i>DWT</i> Max	40,000	50,000	80,000	174,805	198,152	250,000	400,000
		<i>HandySize</i>	<i>HandyMax</i>	<i>Panamax</i>	<i>Cape</i>			
	Total	~175m LOA	< 200m	entre 201m e 294m	> 294m	<i>Large Cape</i>	<i>VLOC</i>	<i>Valemax</i>
<i>Soja</i>	100%	-	-	100%	-	-	-	-
<i>Milho</i>	100%	-	-	100%	-	-	-	-
<i>Farelo</i>	100%	-	-	100%	-	-	-	-
<i>Siderúrgico (vergalhão)</i>	100%	100%	-	-	-	-	-	-
<i>Siderúrgico (bobina)</i>	100%	100%	-	-	-	-	-	-
<i>Celulose</i>	100%	100%	-	-	-	-	-	-
<i>Fertilizantes</i>	100%	70%	30%	-	-	-	-	-

Fonte: Terminal Portuário

5 CENÁRIOS

Depois da modelagem conceitual e computacional do problema proposto, obteve-se como resultado um modelo apto a ser utilizado na construção de cenários e análises de sensibilidade para validar o projeto de engenharia proposto para o terminal.

Estes cenários podem ser construídos a partir da variação de alguns dos parâmetros do projeto, isoladamente ou em conjunto, e mostrarão o comportamento do sistema por meio de alguns indicadores selecionados.

Ao final, os cenários e análises de sensibilidade construídos devem considerar as expansões e aumentos de demanda previstos. Sendo assim, um passo importante para a construção do trabalho é a indicação das demandas de cada produto que devem ser testadas, que foi apresentada no final do capítulo anterior pela Tabela 1.

A seguir serão apresentados os cenários que farão parte do estudo de dimensionamento do terminal portuário. Os cenários serão desenvolvidos a partir de modificações no “Cenário Base”, que consiste nas características iniciais do projeto, definidas pelo terminal. Ele serve para a validação do modelo liberando assim, a execução dos demais cenários para estudo.

Além da variação das demandas que devem ser atendidas em cada ano de avaliação do estudo, foram selecionados alguns outros parâmetros para a geração dos cenários:

- Número de tombadores instalados: 2 ou 3 equipamentos;
- Número de silos instalados: 3 ou 4;
- Tempo de operação nos tombadores: 8 ou 10 minutos;
- Produtividade nominal dos berços: 2.000 ou 3.000 tph;
- Tamanho da janela de atendimento (antecedência prevista de chegada de caminhões para um navio): 4 ou 8 dias de antecipação.
- Inclusão da operação ferroviária e do número de armazéns para essa operação: 1 ou 2 armazéns de 80.000 toneladas com a quantidade necessária de moegas ferroviárias entre 3 e 5 equipamentos.

As análises seguirão a lógica de que é necessário ter um nível de serviço suficiente, para isso foram definidos os critérios para que o cenário seja considerado adequado para as demandas previstas. Primeiramente, a demanda precisa ser atendida dentro do período de um ano ou

que a quantidade de carga seja no máximo o equivalente a 2 navios da melhor classe (*Handysize*: 40.000t) ou, no máximo 80.000 toneladas. Outro fator de avaliação é o tempo que os navios de grãos ficam em fundeio, que consiste no tempo esperando formação de carga no terminal mais o de berço disponível para atracação. Esse indicador não deve passar de 10 dias, ou seja, 240 horas em fila. Além disso, o tempo dos caminhões em fila na portaria de entrada não pode extrapolar o valor de 1 hora e meia. Por fim, as ocupações dos recursos não devem passar o limite de 80%.

Para a execução dos cenários, foi utilizado um *hardware* com as seguintes configurações:

- Sistema Operacional: Windows 11 Pro 64 bits
- Processador: 12th gen Intel(R) Core(TM) i7-12700H 2.30GHz
- RAM: 32,0 GB
- Armazenamento: 1TB SSD

Como observação, o tempo de execução dos cenários variou de acordo com a capacidade do terminal em atender a demanda prevista. Ou seja, para os casos em que o sistema está bem dimensionado ou até superdimensionado, o tempo de execução fica baixo dos 5 minutos. Porém, em cenários onde o sistema tem dificuldade em atender a demanda o modelo passa a ficar com muitas entidades (caminhões, navios, trens etc.) em processamento, principalmente em fila, exigindo mais do *hardware* e conseqüentemente fazendo o tempo de execução aumentar significativamente, chegando a passar de 1 hora.

5.1 Verificação e validação

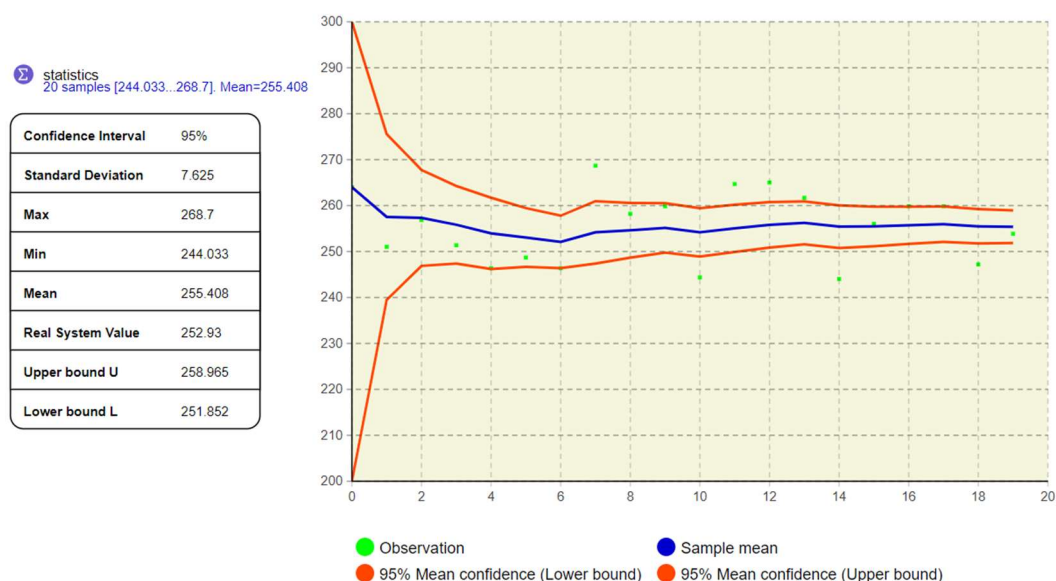
Para a verificação, foram realizadas a depuração do modelo assim como o acompanhamento e análise da animação 2D. O primeiro método permite o rastreamento de processos de simulação passo a passo durante a execução, tendo em vista a identificação de quaisquer disfunções e *bugs*, enquanto o segundo permite verificar através da observação se as atividades e os agentes operam corretamente conforme o esperado.

Quanto à validação, ela também foi feita por meio de dois métodos. Uma série de replicações foram realizadas para examinar a precisão dos resultados da simulação. AnyLogic fornece um experimento de variação de parâmetro que interrompe replicações após um número mínimo de replicações quando o nível de confiança é atingido. Para isso, o nível de confiança

é fixado em 95% e a porcentagem de erro é fixada como 0,05. Assim, o nível de confiança foi calculado com base no ano de 2021 de dois indicadores: (1) tempo médio dos navios em fila e (2) tempo médio de ciclo dos caminhões. Como resultado, foram utilizadas vinte replicações para atingir o nível de precisão necessário. O segundo método consiste em comparar os resultados obtidos com os observados no sistema real, sendo ambos valores ficando dentro dos limites superior e inferior obtidos no primeiro método. Além disso, foram discutidos os resultados com os gestores, para que eles possam avaliar por si mesmos sua validade e precisão.

Conforme dito, na Figura 15 é apresentado a análise para atender ao nível de confiança e a comparação do valor real para o tempo médio de espera dos navios, onde o limite superior foi de 258.965 horas e o inferior de 251.852 horas. Sendo assim, o valor real de 252.93 horas está dentro desse intervalo.

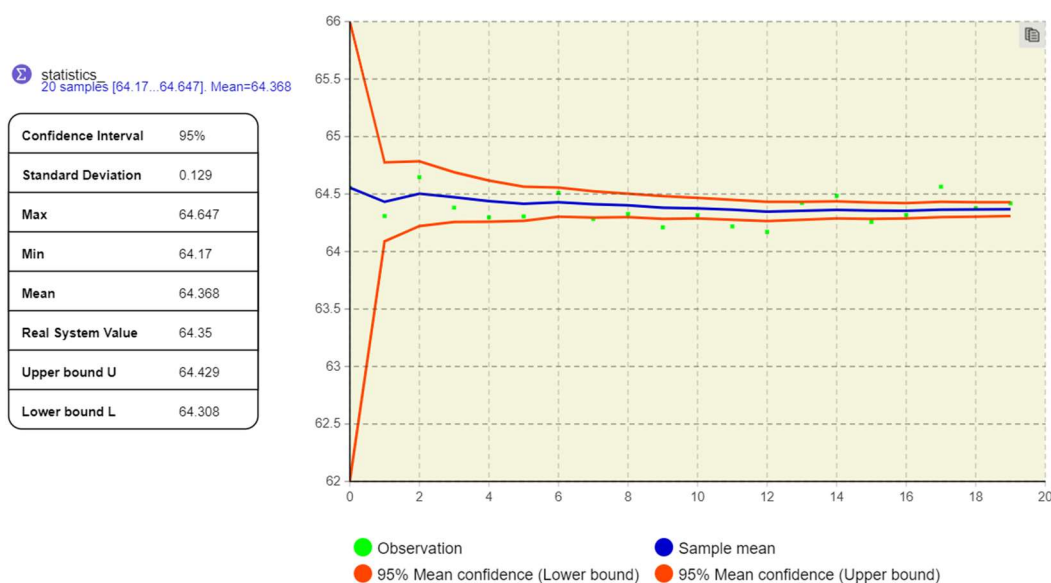
Figura 15 - Validação (Tempo médio de espera dos navios)



Fonte: Autor

Da mesma forma, na Figura 16 é apresentado a análise para atender ao nível de confiança e a comparação do valor real para o tempo médio de ciclo dos caminhões, onde o limite superior foi de 64.429 horas e o inferior de 64.308 horas. Sendo assim, o valor real de 64.35 horas está dentro desse intervalo.

Figura 16 - Validação (Tempo médio de ciclo dos caminhões)



Fonte: Autor

5.2 Cenário Base

O cenário base foi definido juntamente com o terminal, no qual foram definidos todos os dados de entrada existentes nas abas da *interface* apresentadas. Com relação aos parâmetros que serão considerados para o estudo de dimensionamento do terminal, assim como os valores iniciais, foram definidos:

- 2 tombadores, com tempo de operação de 10 minutos;
- 3 silos com capacidade de 30.000 toneladas para soja e milho; como não temos demanda de farelo no primeiro ano (2023), então não temos armazéns no cenário base, sendo adicionados armazéns com capacidade de 80.000 toneladas a partir de 2026;
- produtividade efetiva de 2.000 tph nos berços; e
- 4 dias de janela para chegada de caminhões.
- A partir de 2026, iniciará a operação ferroviária para recebimento de farelo com pelo menos 1 armazém para essa operação e 3 moegas.

5.3 Cenários alternativos

1) Produtividade dos tombadores

Como um dos parâmetros a ser estudado, foi verificada a influência da redução do tempo de operação dos tombadores no desempenho do terminal para atender a demanda projetada. Como discutido com o terminal, seria possível reduzir o tempo de operação dos tombadores e o valor teórico que poderia ser atingido foi definido como 8 minutos.

2) Produtividade nominal dos berços

Outra melhoria considerada para estudo foi o aumento da produtividade nominal nos berços, elevando a taxa de 2.000 tph para 3.000 tph. Para tal cenário, foram realizadas as simulações dos anos previstos considerando esse novo valor.

3) Janela de antecipação da chegada das cargas

Como definido no cenário base, os caminhões e trens são programados para chegarem no terminal em uma janela de antecipação definida na *interface*, sendo a chegada com o mínimo de 2 dias de antecedência e no máximo de 6 dias em relação ao navio. Com o intuito de amenizar a concentração de demandas em épocas do ano devido à sazonalidade, esse aumento na janela de antecedência foi alvo de avaliação. Para isso, foi mantida uma antecedência mínima de 2 dias, mas aumentada a antecedência máxima para 10 dias em relação ao navio.

4) Inclusão da operação ferroviária com as quantidades de armazéns e moegas

Vale lembrar que haverá a inclusão da operação de descarga ferroviária de farelo a partir do ano de 2026. Sendo considerados para essa operação, inicialmente 1 armazém podendo chegar até 2 armazéns de 80.000 toneladas cada e quantidade de moegas ferroviárias a ser avaliada no estudo para as demandas previstas. A operação ferroviária é complexa e possui diversas características e peculiaridades. Considerá-las de modo a representar o sistema no modelo de simulação permite a obtenção de resultados robustos.

Dentre as informações consideradas, as características de bloqueios causados por trens que atravessam a portaria do terminal, além dos tempos relacionados às movimentações e

manobras no terminal. Essas informações foram levantadas junto a *benchmark* conhecidos e utilizados pelo CILIP em outros projetos.

6 RESULTADOS

Serão apresentados os resultados dos cenários descritos no capítulo anterior juntamente com as análises.

- Cenário 1 - Cenário base

Foram rodadas apenas os anos de 2023 a 2025 devido ao fato de que a infraestrutura do cenário base já apresentava níveis de serviço baixos, como os tempos em fila dos navios de grãos e tempos em fila fora do terminal pelos caminhões. Os principais resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Principais resultados do cenário base (2023 – 2025)

		(Continua)		
		2023	2024	2025
		(BASE)	(BASE)	(BASE)
	Grãos - Rodo (prod 1 e 2)	783,000	1,903,000	2,400,000
	Soja - Rodo (prod 1)	575,386	1,398,416	1,763,635
	Milho - Rodo (prod 2)	207,614	504,584	636,365
	Farelo - Ferro (prod 3)	0	0	0
	Export Steel - Vergalhão (prod 4)	155,000	178,000	200,000
	AMV - Bobinas (prod 5)	2,398,000	2,599,000	2,800,000
	Celulose (prod 6)	368,000	384,000	400,000
	Fertilizante (prod 7)	600,000	700,000	800,000
	Demanda Total	4,304,000	5,764,000	6,600,000
	JANELA [dias]	4	4	4
	TOMBADORES [#]	2	2	2
	SILOS [#]	3	3	3
	ARMAZÉNS [#]	0	0	0
	TAXA CN [tph]	2000	2000	2000
	TEMPO TOMBADOR [min]	10	10	10
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navios de Grãos	horas	15.5	334.5	812.2
Tempo_em_FilaporBerco (Média) Navio Geral	horas	15.56	84.1	125.1
Tempo em Fila Entrada (Média) Caminhão	horas	1.1	2	2.7

Fonte: Autor

Tabela 5 - Principais resultados do cenário base (2023 – 2025)

(Continuação)

		2023 (BASE)	2024 (BASE)	2025 (BASE)
Grãos - Rodo (prod 1 e 2)		783,000	1,903,000	2,400,000
Soja - Rodo (prod 1)		575,386	1,398,416	1,763,635
Milho - Rodo (prod 2)		207,614	504,584	636,365
Farelo - Ferro (prod 3)		0	0	0
Export Steel - Vergalhão (prod 4)		155,000	178,000	200,000
AMV - Bobinas (prod 5)		2,398,000	2,599,000	2,800,000
Celulose (prod 6)		368,000	384,000	400,000
Fertilizante (prod 7)		600,000	700,000	800,000
Demanda Total		4,304,000	5,764,000	6,600,000
JANELA [dias]		4	4	4
TOMBADORES [#]		2	2	2
SILOS [#]		3	3	3
ARMAZÉNS [#]		0	0	0
TAXA CN [tph]		2000	2000	2000
TEMPO TOMBADOR [min]		10	10	10
Carga Total Transportada - Soja	ton	597,870	1,398,417	1,643,614
Carga Total Planejada - Soja	ton	597,870	1,398,416	1,800,540
Carga Total Transportada - Milho	ton	262,412	443,713	100,002
Carga Total Planejada - Milho	ton	262,412	559,316	652,721
Carga Total Transportada - Farelo	ton	-	-	-
Carga Total Planejada - Farelo	ton	-	-	-
Carga Total Transportada - AMB (Vergalhão)	ton	155,000	178,000	200,000
Carga Total Planejada - AMB (Vergalhão)	ton	155,000	178,000	200,000
Carga Total Transportada - AMV (Bobina)	ton	2,398,000	2,496,072	2,713,773
Carga Total Planejada - AMV (Bobina)	ton	2,398,000	2,599,000	2,799,999
Carga Total Transportada - Celulose	ton	333,468	384,000	372,035
Carga Total Planejada - Celulose	ton	368,000	384,000	400,000
Carga Total Transportada - Fertilizantes	ton	676,798	764,689	802,956
Carga Total Planejada (ton) - Fertilizantes	ton	676,798	804,690	879,531

Fonte: Autor

Tabela 6 - Principais resultados do cenário base (2023 – 2025)

(Continuação)

		2023 (BASE)	2024 (BASE)	2025 (BASE)
Grãos - Rodo (prod 1 e 2)		783,000	1,903,000	2,400,000
Soja - Rodo (prod 1)		575,386	1,398,416	1,763,635
Milho - Rodo (prod 2)		207,614	504,584	636,365
Farelo - Ferro (prod 3)		0	0	0
Export Steel - Vergalhão (prod 4)		155,000	178,000	200,000
AMV - Bobinas (prod 5)		2,398,000	2,599,000	2,800,000
Celulose (prod 6)		368,000	384,000	400,000
Fertilizante (prod 7)		600,000	700,000	800,000
Demanda Total		4,304,000	5,764,000	6,600,000
JANELA [dias]		4	4	4
TOMBADORES [#]		2	2	2
SILOS [#]		3	3	3
ARMAZÉNS [#]		0	0	0
TAXA CN [tph]		2000	2000	2000
TEMPO TOMBADOR [min]		10	10	10
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Soja	horas	22.6	284.5	717.6
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Milho	horas	0	496.7	1,642.40
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Farelo	horas	-	-	-
Tempo_em_FilaporBerco (Média) Navio - Soja	horas	21	85.3	90.3
Tempo_em_FilaporBerco (Média) Navio - Milho	horas	20.9	125.1	239.8
Tempo_em_FilaporBerco (Média) Navio - Farelo	horas	-	-	-
Tempo_em_FilaporBerco (Média) Navio - AMB (Vergalhão)	horas	3.7	82.9	133.5
Tempo_em_FilaporBerco (Média) Navio - AMV (Bobina)	horas	16.7	82.8	134.7
Tempo_em_FilaporBerco (Média) Navio - Celulose	horas	14.9	85.8	102.3
Tempo_em_FilaporBerco (Média) Navio - Fertilizante	horas	10.8	64.4	126.4

Fonte: Autor

Tabela 7 - Principais resultados do cenário base (2023 – 2025)

(Continuação)

		2023	2024	2025
		(BASE)	(BASE)	(BASE)
Grãos - Rodo (prod 1 e 2)		783,000	1,903,000	2,400,000
Soja - Rodo (prod 1)		575,386	1,398,416	1,763,635
Milho - Rodo (prod 2)		207,614	504,584	636,365
Farelo - Ferro (prod 3)		0	0	0
Export Steel - Vergalhão (prod 4)		155,000	178,000	200,000
AMV - Bobinas (prod 5)		2,398,000	2,599,000	2,800,000
Celulose (prod 6)		368,000	384,000	400,000
Fertilizante (prod 7)		600,000	700,000	800,000
Demanda Total		4,304,000	5,764,000	6,600,000
JANELA [dias]		4	4	4
TOMBADORES [#]		2	2	2
SILOS [#]		3	3	3
ARMAZÉNS [#]		0	0	0
TAXA CN [tph]		2000	2000	2000
TEMPO TOMBADOR [min]		10	10	10
Tempo Fundeio (Média) Navio - Soja	horas	43.6	369.8	807.8
Tempo Fundeio (Média) Navio - Milho	horas	20.9	621.9	1882.2
Tempo Fundeio (Média) Navio - Farelo	horas	-	-	-
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMB (Vergalhão)	horas	3.7	82.9	133.5
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMV (Bobina)	horas	16.7	82.8	134.7
Tempo Fundeio (Média) Navio - Celulose	horas	14.9	85.8	102.3
Tempo Fundeio (Média) Navio - Fertilizante	horas	10.8	64.4	126.4
Tempo em Fila Entrada Terminal (Média) Caminhão - Soja	horas	4.9	5.2	4.7
Tempo em Fila Entrada Terminal (Média) Caminhão - Milho	horas	4.8	5.2	5.2
Tempo em Fila Entrada Terminal (Média) Caminhão - Farelo	horas	-	-	-

Fonte: Autor

Tabela 8 - Principais resultados do cenário base (2023 – 2025)

(Continuação)

		2023	2024	2025
		(BASE)	(BASE)	(BASE)
Grãos - Rodo (prod 1 e 2)		783,000	1,903,000	2,400,000
Soja - Rodo (prod 1)		575,386	1,398,416	1,763,635
Milho - Rodo (prod 2)		207,614	504,584	636,365
Farelo - Ferro (prod 3)		0	0	0
Export Steel - Vergalhão (prod 4)		155,000	178,000	200,000
AMV - Bobinas (prod 5)		2,398,000	2,599,000	2,800,000
Celulose (prod 6)		368,000	384,000	400,000
Fertilizante (prod 7)		600,000	700,000	800,000
Demanda Total		4,304,000	5,764,000	6,600,000
JANELA [dias]		4	4	4
TOMBADORES [#]		2	2	2
SILOS [#]		3	3	3
ARMAZÉNS [#]		0	0	0
TAXA CN [tph]		2000	2000	2000
TEMPO TOMBADOR [min]		10	10	10
Tempo em Fila Entrada Terminal (Média) Caminhão - AMB (Vergalhão)	horas	0	0	0
Tempo em Fila Entrada Terminal (Média) Caminhão - AMV (Bobina)	horas	0	0	0
Tempo em Fila Entrada Terminal (Média) Caminhão - Celulose	horas	0	0	0
Tempo em Fila Entrada Terminal (Média) Caminhão - Fertilizantes	horas	0	0	0
Tempo em Fila Tombador (Média) Caminhão - Soja	horas	2.3	2.4	2.2
Tempo em Fila Tombador (Média) Caminhão - Milho	horas	2.3	2.4	2.4
Tempo em Fila Tombador (Média) Caminhão - Farelo	horas	-	-	-
Tempo no Tombador (Média) Caminhão - Soja	horas	0.2	0.2	0.2
Tempo no Tombador (Média) Caminhão - Milho	horas	0.2	0.2	0.2
Tempo no Tombador (Média) Caminhão - Farelo	horas	-	-	-

Fonte: Autor

Tabela 9 - Principais resultados do cenário base (2023 – 2025)

(Continuação)

		2023	2024	2025
		(BASE)	(BASE)	(BASE)
Grãos - Rodo (prod 1 e 2)		783,000	1,903,000	2,400,000
Soja - Rodo (prod 1)		575,386	1,398,416	1,763,635
Milho - Rodo (prod 2)		207,614	504,584	636,365
Farelo - Ferro (prod 3)		0	0	0
Export Steel - Vergalhão (prod 4)		155,000	178,000	200,000
AMV - Bobinas (prod 5)		2,398,000	2,599,000	2,800,000
Celulose (prod 6)		368,000	384,000	400,000
Fertilizante (prod 7)		600,000	700,000	800,000
Demanda Total		4,304,000	5,764,000	6,600,000
JANELA [dias]		4	4	4
TOMBADORES [#]		2	2	2
SILOS [#]		3	3	3
ARMAZÉNS [#]		0	0	0
TAXA CN [tph]		2000	2000	2000
TEMPO TOMBADOR [min]		10	10	10
Carga transportada caminhões - Soja	ton	597,888	1,398,432	1,689,024
Carga transportada caminhões - Milho	ton	262,432	530,560	155,552
Carga transportada caminhões - Farelo	ton	-	-	-
Carga transportada caminhões - AMB (Vergalhão)	ton	155,115	178,110	200,115
Carga transportada caminhões - AMV (Bobina)	ton	2,399,805	2,547,045	2,732,985
Carga transportada caminhões - Celulose	ton	368,224	384,256	372,256
Carga transportada caminhões - Fertilizantes	ton	677,130	777,810	803,340
Ocupação Berço 1	%	20.80%	23.00%	24.00%
Ocupação Berço 2	%	36.20%	77.40%	71.30%
Ocupação Berço 3	%	57.40%	82.20%	74.50%
Ocupação das Portaria_Entrada	%	11.20%	15.10%	15.30%
Ocupação das Balanca_Entrada	%	11.20%	15.10%	15.30%
Ocupação dos Tombadores	%	17.00%	57.30%	54.90%
Ocupação das Balanca_Saida	%	7.50%	10.10%	10.20%
Ocupação da Portaria de Saída	%	11.20%	15.10%	15.30%

Fonte: Autor

Tabela 10 - Principais resultados do cenário base (2023 – 2025)

		(Continuação)		
		2023	2024	2025
		(BASE)	(BASE)	(BASE)
Grãos - Rodo (prod 1 e 2)		783,000	1,903,000	2,400,000
Soja - Rodo (prod 1)		575,386	1,398,416	1,763,635
Milho - Rodo (prod 2)		207,614	504,584	636,365
Farelo - Ferro (prod 3)		0	0	0
Export Steel - Vergalhão (prod 4)		155,000	178,000	200,000
AMV - Bobinas (prod 5)		2,398,000	2,599,000	2,800,000
Celulose (prod 6)		368,000	384,000	400,000
Fertilizante (prod 7)		600,000	700,000	800,000
Demanda Total		4,304,000	5,764,000	6,600,000
JANELA [dias]		4	4	4
TOMBADORES [#]		2	2	2
SILOS [#]		3	3	3
ARMAZÉNS [#]		0	0	0
TAXA CN [tph]		2000	2000	2000
TEMPO TOMBADOR [min]		10	10	10
Giros no Silo 1	#	16	25	23
Giros no Silo 2	#	12	23	22
Giros no Silo 3	#	4	20	21
Taxa de Chegada de caminhões de soja por navio na janela	cam/hora	17.7	17.5	18.3
Taxa de Atendimento de caminhões	cam/hora	18	18	18
Índice de Congestionamento (durante a janela de recepção)	#	0.98	0.97	1.02
Demanda Total transportada - Grãos	ton	860,282	1,842,130	1,743,616
Demanda Total transportada - Siderúrgicos	ton	2,553,000	2,674,072	2,913,773
Demanda Total transportada - Outros	ton	1,010,266	1,148,689	1,174,991
Demanda Total transportada - Grãos	%	100.00%	94.10%	71.10%
Demanda Total transportada - Siderúrgicos	%	100.00%	96.30%	97.10%
Demanda Total transportada - Outros	%	96.70%	96.60%	91.80%
Demanda não atendida	ton	34,532	258,531	900,411

Fonte: Autor

A partir do cenário base é possível observar o aumento substancial que ocorre na ocupação dos tombadores já no cenário 2024. Apesar de não ter ultrapassado o limite de 85%, pode ser um indicativo de que muito provavelmente essa operação de descarga rodoviária seja um

gargalo do sistema sob as condições iniciais. Isso se confirma a partir do fato de que o atendimento às demandas de grãos começa a ficar prejudicada a partir deste ano, com a demanda de milho atendida estando cerca de 6% abaixo da esperada já em 2024 e quase 30% em 2025. Dessa forma, a infraestrutura inicial consegue ser suficiente para o primeiro ano, mas para os demais não consegue se manter dentro do limite de até 80.000 toneladas (2 navios *Handysize*) de produtos não atendidos dentro da janela de 1 ano.

Os tempos em fila das embarcações também aumentam a ponto de exceder o limite de 10 dias, mostrando como ruídos no sistema de descarga podem gerar problemas na outra ponta, no sistema de embarque, uma vez que os subsistemas estão todos interligados.

Além disso, os tempos em fila dos caminhões na entrada do terminal também aumenta substancialmente, ultrapassando o limite de uma hora e meia definido anteriormente. Na verdade, em 2025 os tempos apresentados nem são representativos, mas sim o fato de que eles refletem a formação de filas que nunca serão dissipadas, as chamadas “filas infinitas”, uma vez que as taxas de atendimento são menores que as taxas de chegada, como mostram os resultados.

Outro parâmetro importante a ser observado é a quantidade de giros nos silos. Para os cenários de 2024 e 2025, o aumento da demanda de grãos faz com que o subsistema de armazenagem comece a se tornar uma restrição para o sistema, mostrando que provavelmente a instalação do quarto silo comece a se tornar necessária neste horizonte de planejamento;

A espera para formação das cargas de grãos também aumenta muito e pode impactar nas esperas dos navios gerando prejuízos para o terminal. Esse problema pode ser constatado ao ver essa espera ir de 15 horas para quase 14 dias chegando até 33 em 2025, violando o limite de 240 horas.

No entanto, é importante observar que em termos de portaria e balanças, as ocupações são baixas, portanto, nesses quesitos o sistema está bem dimensionado para as demandas até 2025.

O cenário base de 2023 (2.000 tph nos berços, 2 tombadores com operação de 10 minutos por caminhão e 3 silos) atende a demanda até 2024 com alguma penalização de filas de navios, mas deve-se atentar ao fato de que entre 2023 e 2024 a demanda de grãos aumenta substancialmente (quase 3 vezes) o que indica que se esse aumento de demanda não se

concretizar nesse período, o cenário base 2023 estará adequado. Caso contrário, certamente se faz necessário o investimento em novas infraestruturas para atender a nova demanda de 2024 com um nível de serviço mais adequado.

- Cenários alternativos

O processo de experimentação e estudo de cenários alternativos foi seguido com a seguinte diretriz geral:

Como foi apresentado, inicialmente foi realizado a simulação do cenário base a partir do ano de 2023 até 2025, onde o sistema já apresentava limitações. Devido a isso, não há necessidade de continuar as simulações para os anos seguintes. A partir desses cenários, iniciamos o estudo de cenários alternativos, realizando as alterações dos parâmetros mencionados no capítulo anterior.

Como observado nos resultados do cenário base, aparentemente a operação com três silos começa a restringir a capacidade do terminal. Visando observar se há melhoria no nível de serviço do sistema, foram simulados os cenários de 2024 e 2025 com o acréscimo do quarto silo de armazenagem e com um tombador extra, os resultados comparativos de 2024 são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Inclusão do 4º silo de armazenagem ou 3º tombador (2024)

		(Continua)		
		2024	2024	2024
		Base		
JANELA	dias	4	4	4
TOMBADORES	#	2	2	3
SILOS	#	3	4	3
TAXA CN	tph	2000	2000	2000
TEMPO TOMBADOR	min	10	10	10
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navios de Grãos	hr	334.5	333.4	31.3
Tempo_em_FilaporBerco (Média) Navio Geral	hr	84.1	184.7	17.6
Tempo em Fila Entrada (Média) Caminhão	hr	2	2	1.5
Carga Total Transportada (ton) - Soja	ton	1,398,417	1,398,417	1,398,417
Carga Total Planejada (ton) - Soja	ton	1,398,416	1,398,416	1,398,416
Carga Total Transportada (ton) - Milho	ton	443,713	443,713	559,316
Carga Total Planejada (ton) - Milho	ton	559,316	559,316	559,316
Carga Total Transportada (ton) - AMB (Vergalhão)	ton	178,000	178,000	178,000

Fonte: Autor

Tabela 12 - Inclusão do 4º silo de armazenagem ou 3º tombador (2024)

		(Continuação)		
		2024	2024	2024
		Base		
JANELA	dias	4	4	4
TOMBADORES	#	2	2	3
SILOS	#	3	4	3
TAXA CN	tph	2000	2000	2000
TEMPO TOMBADOR	min	10	10	10
Carga Total Planejada (ton) - AMB (Vergalhão)	ton	178,000	178,000	178,000
Carga Total Transportada (ton) - AMV (Bobina)	ton	2,496,072	2,496,072	2,548,546
Carga Total Planejada (ton) - AMV (Bobina)	ton	2,599,000	2,599,000	2,599,000
Carga Total Transportada (ton) - Celulose	ton	384,000	384,000	384,000
Carga Total Planejada (ton) - Celulose	ton	384,000	384,000	384,000
Carga Total Transportada (ton) - Fertilizantes	ton	764,689	764,689	804,690
Carga Total Planejada (ton) - Fertilizantes	ton	804,690	804,690	804,690
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Soja	hr	284.5	272.4	41.2
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Milho	hr	496.7	436.2	5.4
Tempo Fundeio (Média) Navio - Soja	hr	369.8	460.7	75
Tempo Fundeio (Média) Navio - Milho	hr	621.9	741.5	19.6
Tempo Fundeio (Média) Navio - Farelo	hr	-	-	-
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMB (Vergalhão)	hr	82.9	209.5	25.2
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMV (Bobina)	hr	82.8	172.6	14.9
Tempo Fundeio (Média) Navio - Celulose	hr	85.8	202.7	17.7
Tempo Fundeio (Média) Navio - Fertilizante	hr	64.4	170.1	10
Número total de navios atendidos	#	159	159	164
Número total de caminhões atendidos	#	158,775	158,775	161,474
Ocupação Berço 1	%	23.00%	29.20%	21.80%
Ocupação Berço 2	%	77.40%	82.70%	52.80%
Ocupação Berço 3	%	82.20%	85.40%	56.00%
Ocupação das Portaria_Entrada	%	15.10%	14.80%	15.40%
Ocupação das Balanca_Entrada	%	15.10%	14.80%	15.30%
Ocupação dos Tombadores	%	57.30%	37.10%	38.80%
Ocupação das Balanca_Saida	%	10.10%	9.90%	10.30%
Ocupação da Portaria de Saída	%	15.10%	14.80%	15.40%
Giros no Silo 1	#	25	20	28
Giros no Silo 2	#	23	20	24
Giros no Silo 3	#	20	16	20
Giros no Silo 4	#	0	16	0

Fonte: Autor

Tabela 13 - Inclusão do 4º silo de armazenagem ou 3º tombador (2024)

		(Continuação)		
		2024	2024	2024
		Base		
JANELA	dias	4	4	4
TOMBADORES	#	2	2	3
SILOS	#	3	4	3
TAXA CN	tph	2000	2000	2000
TEMPO TOMBADOR	min	10	10	10
Demanda Total Grãos	ton	1,842,130	1,842,130	1,957,733
Demanda Total Siderúrgicos	ton	2,674,072	2,674,072	2,726,546
Demanda Total Outros	ton	1,148,689	1,148,689	1,188,690
Demanda Total	ton	5,664,891	5,664,891	5,872,969
Demanda Total Grãos	%	94.10%	94.10%	100.00%
Demanda Total Siderúrgicos	%	96.30%	96.30%	98.20%
Demanda Total Outros	%	96.60%	96.60%	100.00%
Atendimento Demanda	%	95.60%	95.60%	99.10%
Carga não atendida	ton	258,531	258,531	50,453

Fonte: Autor

É possível observar que, em 2024, com o acréscimo do quarto silo os giros se reequilibram, mas outros problemas persistem, como as filas de caminhões que não sofrem alterações, os tempos de espera por carga não diminuem significativamente, as ocupações dos berços permanecem altos e o sistema continua não atendendo a demanda prevista dentro do limite aceitável. Com isso, foi analisado o desempenho do terminal com a inclusão de mais um tombador sem o silo extra.

Ao analisarmos a inclusão do terceiro tombador, obtemos a redução mais importante dos tempos de espera dos navios por carga para níveis mais confortáveis, fazendo com que o porto atenda mais navios ao longo do ano. Não somente esse problema foi resolvido, como os demais indicadores também foram beneficiados com essa alteração. Assim, conseguimos apontar com mais objetividade qual a primeira necessidade do terminal, sendo a inclusão de um novo silo um investimento que pode ser postergado.

Para o ano de 2025, com o novo nível de demanda e somente com a inclusão do terceiro tombador o terminal passa a ter uma redução no nível de serviço, por isso foi verificado o efeito da inclusão do quarto silo simultaneamente. Com esses dois recursos adicionais, o sistema apresentou significativa melhora em relação ao cenário base e com apenas um

tombador extra: menor espera por carga, menores filas de caminhões, mais veículos atendidos e melhores níveis de serviço apesar de não ser o suficiente, como verificado na Tabela 14.

Tabela 14 - Inclusão do 4º silo e 3º tombador (2025)

		(Continua)		
		2025	2025	2025
		Base		
JANELA	dias	4	4	4
TOMBADORES	#	2	3	3
SILOS	#	3	3	4
TAXA CN	tph	2000	2000	2000
TEMPO TOMBADOR	min	10	10	10
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navios de Grãos	hr	812.2	222.9	100.3
Tempo_em_FilaporBerco (Média) Navio Geral	hr	125.1	77.4	156.7
Tempo em Fila Entrada (Média) Caminhão	hr	2.7	2.3	1.8
Carga Total Transportada (ton) - Soja	ton	1,643,614	1,800,540	1,800,540
Carga Total Planejada (ton) - Soja	ton	1,800,540	1,800,540	1,800,540
Carga Total Transportada (ton) - Milho	ton	100,002	549,081	549,081
Carga Total Planejada (ton) - Milho	ton	652,721	652,721	652,721
Carga Total Transportada (ton) - AMB (Vergalhão)	ton	200,000	200,000	200,000
Carga Total Planejada (ton) - AMB (Vergalhão)	ton	200,000	200,000	200,000
Carga Total Transportada (ton) - AMV (Bobina)	ton	2,713,773	2,677,147	2,677,147
Carga Total Planejada (ton) - AMV (Bobina)	ton	2,799,999	2,799,999	2,799,999
Carga Total Transportada (ton) - Celulose	ton	372,035	372,035	372,035
Carga Total Planejada (ton) - Celulose	ton	400,000	400,000	400,000
Carga Total Transportada (ton) - Fertilizantes	ton	802,956	802,956	802,956
Carga Total Planejada (ton) - Fertilizantes	ton	879,531	879,531	879,531
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Soja	hr	717.6	194	76.5
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Milho	hr	1642.4	318.2	178.9
Tempo Fundeio (Média) Navio - Soja	hr	807.8	249.1	61.5
Tempo Fundeio (Média) Navio - Milho	hr	1,882	431	18
Tempo Fundeio (Média) Navio - Farelo	hr	-	-	-
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMB (Vergalhão)	hr	134	82	14
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMV (Bobina)	hr	135	85	22
Tempo Fundeio (Média) Navio - Celulose	hr	102	62	22
Tempo Fundeio (Média) Navio - Fertilizante	hr	126	68	21

Fonte: Autor

Tabela 15 - Inclusão do 4º silo e 3º tombador (2025)

(Continuação)

		2025	2025	2025
		Base		
JANELA	dias	4	4	4
TOMBADORES	#	2	3	3
SILOS	#	3	3	4
TAXA CN	tph	2000	2000	2000
TEMPO TOMBADOR	min	10	10	10
Número total de navios atendidos	#	169	179	179
Número total de caminhões atendidos	#	161,234	180,236	180,236
Ocupação das Portaria_Entrada	%	15.30%	17.20%	17.10%
Ocupação das Balanca_Entrada	%	15.30%	17.10%	17.10%
Giros no Silo 1	#	23	30	23
Giros no Silo 2	#	22	29	23
Giros no Silo 3	#	21	27	20
Giros no Silo 4	#	0	0	20
Ocupação dos Tombadores	%	54.90%	48.10%	48.60%
Ocupação das Balanca_Saida	%	10.20%	11.40%	11.40%
Ocupação da Portaria de Saída	%	15.30%	17.10%	17.10%
Ocupação Berço 1	%	24.00%	20.70%	22.70%
Ocupação Berço 2	%	71.30%	63.10%	65.60%
Ocupação Berço 3	%	74.50%	69.60%	69.20%
Demanda Total Grãos	ton	1,743,616	2,349,621	2,349,621
Demanda Total Siderúrgicos	ton	2,913,773	2,877,147	2,877,147
Demanda Total Outros	ton	1,174,991	1,174,991	1,174,991
Demanda Total	ton	5,832,380	6,401,759	6,401,759
Demanda Total Grãos	%	71.10%	95.80%	95.80%
Demanda Total Siderúrgicos	%	97.10%	95.90%	95.90%
Demanda Total Outros	%	91.80%	91.80%	91.80%
Atendimento Demanda	%	86.60%	95.10%	95.10%
Carga não atendida	ton	900,411	331,032	331,032

Fonte: Autor

Para uma melhor avaliação do sistema no cenário previsto para o ano de 2025, de maior demanda, foram testadas outras três melhorias: aumento na taxa de produtividade nos berços (de 2.000 para 3.000 tph), aumento da janela de antecedência para os caminhões (ao invés de 4 dias, 8 dias para formação da carga) e redução do tempo no tombador, de 10 para 8 minutos.

Considerou-se que tais análises seriam mais importantes para este cenário de 2025 por se tratar do cenário com piores indicadores no cenário base e com maiores restrições no atendimento aos caminhões e, conseqüentemente, atendimento da demanda total de navios.

Nas simulações já apresentadas para 2025 foi possível observar que o índice de congestionamento do sistema de recepção aos caminhões ainda se aproxima de 100%, o que pode representar uma forte restrição ao atendimento da demanda. Além disso, as filas de caminhões na entrada do terminal continuavam muito altas e qualquer paralisação operacional pode fazer com que os navios fiquem muito tempo no terminal, gerando o pagamento de multas.

Os resultados da Tabela 16 mostraram que apenas alterar a janela de atendimento de caminhões não diminui suficientemente as filas na entrada do terminal. Sendo necessário outros investimentos em infraestrutura para que os níveis de serviço se elevem de forma aceitável.

Tabela 16 - Melhorias nos CN's, recepção e atendimento rodoviário (2025)

		(Continua)					
		2025	2025	2025	2025	2025	2025
		Base					
JANELA	dias	4	4	8	8	8	8
TOMBADORES	#	2	3	3	3	3	3
SILOS	#	3	4	4	4	4	4
TAXA CN	tph	2000	2000	2000	3000	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	10	10	10	10	8	8
Tempo_Aguard_Carga (Média)	hr	812.2	100.3	94.3	83.6	12.6	6
Navios de Grãos							
Tempo_em_FilaporBerco (Média)	hor	125.1	156.7	146.8	145.7	51.4	28.5
Navio Geral							
Tempo em Fila Entrada (Média)	hr	2.7	1.8	1.6	1	0.8	0.8
Caminhão							
Taxa de Chegada de caminhões de soja por navio na janela	Cam / hr	18.3	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8
Taxa de Atendimento de caminhões	Cam / hr	18	18	18	18	18	18
Índice de Congestionamento (durante a janela de recepção)	%	102%	99%	99%	99%	99%	99%

Fonte: Autor

Tabela 17 - Melhorias nos CN's, recepção e atendimento rodoviário (2025)

(Continuação)

		2025 Base	2025	2025	2025	2025	2025
JANELA	dias	4	4	8	8	8	8
TOMBADORES	#	2	3	3	3	3	3
SILOS	#	3	4	4	4	4	4
TAXA CN	tph	2000	2000	2000	3000	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	10	10	10	10	8	8
<hr/>							
Carga Total							
Transportada (ton) - Soja	ton	1,643,614	1,800,540	1,800,540	1,800,540	1,800,540	1,800,540
Carga Total							
Planejada (ton) - Soja	ton	1,800,540	1,800,540	1,800,540	1,800,540	1,800,540	1,800,540
Carga Total							
Transportada (ton) - Milho	ton	100,002	549,081	599,082	652,721	652,721	652,721
Carga Total							
Planejada (ton) - Milho	ton	652,721	652,721	652,721	652,721	652,721	652,721
Carga Total							
Transportada (ton) - AMB (Vergalhão)	ton	200,000	200,000	200,000	200,000	200,000	200,000
Carga Total							
Planejada (ton) - AMB (Vergalhão)	ton	200,000	200,000	200,000	200,000	200,000	200,000
Carga Total							
Transportada (ton) - AMV (Bobina)	ton	2,713,773	2,677,147	2,677,147	2,713,773	2,740,774	2,770,825
Carga Total							
Planejada (ton) - AMV (Bobina)	ton	2,799,999	2,799,999	2,799,999	2,799,999	2,799,999	2,799,999
Carga Total							
Transportada (ton) - Celulose	ton	372,035	372,035	372,035	372,035	400,000	372,035
Carga Total							
Planejada (ton) - Celulose	ton	400,000	400,000	400,000	400,000	400,000	400,000
Carga Total							
Transportada (ton) - Fertilizantes	ton	802,956	802,956	802,956	802,956	879,531	879,531
Carga Total							
Planejada (ton) - Fertilizantes	ton	879,531	879,531	879,531	879,531	879,531	879,531

Fonte: Autor

A seguir, foi incluso o aumento da capacidade dos CN's de 2000tph para 3000tph. Além disso, como já foi dito, o acréscimo de um silo e um tombador causam grande impacto uma vez que reduzem muito o tempo de espera dos navios por produtos de soja e milho como mostra a Tabela 18. O tempo de operação do tombador também é uma variável importante para atender os caminhões sob bons níveis de serviço.

Tabela 18 - Melhorias nos CN's, recepção e atendimento rodoviário (2025) (cont.)

		(Continua)					
		2025 Base	2025	2025	2025	2025	2025
JANELA	dias	4	4	8	8	8	8
TOMBADORES	#	2	3	3	3	3	3
SILOS	#	3	4	4	4	4	4
TAXA CN	tph	2000	2000	2000	3000	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	10	10	10	10	8	8
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Soja	hr	717.6	76.5	73.4	64.5	11.6	5.6
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Milho	hr	1642.4	178.9	156.8	136	15.3	7
Tempo_em_FilaporBerco (Média) Navio Geral	hr	2.7	1.8	1.3	1.3	0.8	0.8
Tempo Fundeio (Média) Navio - Soja	hr	807.8	196.3	185.2	180.1	65.1	36.5
Tempo Fundeio (Média) Navio - Milho	hr	1882.2	337.2	331.4	289.1	41.2	28.7
Tempo Fundeio (Média) Navio - Farelo	hr	-	-	-	-	-	-
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMB (Vergalhão)	hr	133.5	180.8	167.5	187.9	68.5	33.5
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMV (Bobina)	hr	134.7	169.8	155	154.1	53.1	31.2
Tempo Fundeio (Média) Navio - Celulose	hr	102.3	151.6	142.6	133.4	38.2	14.4
Tempo Fundeio (Média) Navio - Fertilizante	hr	126.4	148.6	142.4	142.4	55.2	24.6

Fonte: Autor

Tabela 19 - Melhorias nos CN's, recepção e atendimento rodoviário (2025) (cont.)

		(Continuação)					
		2025	2025	2025	2025	2025	2025
		Base					
JANELA	dias	4	4	8	8	8	8
TOMBADORES	#	2	3	3	3	3	3
SILOS	#	3	4	4	4	4	4
TAXA CN	tph	2000	2000	2000	3000	2000	3000
TEMPO	min	10	10	10	10	8	8
TOMBADOR							
Ocupação Berço 1	%	24.00%	22.70%	26.50%	27.40%	21.10%	21.70%
Ocupação Berço 2	%	71.30%	65.60%	66.70%	63.70%	54.10%	48.30%
Ocupação Berço 3	%	74.50%	69.20%	69.90%	67.90%	57.20%	55.30%
Ocupação das Portaria_Entrada	%	15.30%	17.10%	17.10%	17.40%	17.60%	17.60%
Ocupação das Balanca_Entrada	%	15.30%	17.10%	17.10%	17.30%	17.60%	17.60%
Ocupação dos Tombadores	%	54.90%	48.60%	48.60%	48.60%	38.90%	38.90%
Ocupação das Balanca_Saida	%	10.20%	11.40%	11.50%	11.60%	11.80%	11.80%
Ocupação da Portaria de Saída	%	15.30%	17.10%	17.20%	17.40%	17.60%	17.60%
Giros no Silo 1	#	23	23	23	24	24	25
Giros no Silo 2	#	22	23	23	24	24	25
Giros no Silo 3	#	21	20	21	21	21	20
Giros no Silo 4	#	0	20	21	21	21	20

Fonte: Autor

Tabela 20 - Melhorias nos CN's, recepção e atendimento rodoviário (2025) (cont.)

		(Continuação)					
		2025 Base	2025	2025	2025	2025	2025
JANELA	dias	4	4	8	8	8	8
TOMBADORES	#	2	3	3	3	3	3
SILOS	#	3	4	4	4	4	4
TAXA CN	tph	2000	2000	2000	3000	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	10	10	10	10	8	8
Demanda Total Grãos	ton	1,743,616	2,349,621	2,399,622	2,453,261	2,453,261	2,453,261
Demanda Total Siderúrgicos	ton	2,913,773	2,877,147	2,877,147	2,913,773	2,940,774	2,970,825
Demanda Total Outros	ton	1,174,991	1,174,991	1,174,991	1,174,991	1,279,531	1,251,566
Demanda Total	ton	5,832,380	6,401,759	6,451,760	6,542,025	6,673,566	6,675,652
Demanda Total Grãos	%	71.10%	95.80%	97.80%	100.00%	100.00%	100.00%
Demanda Total Siderúrgicos	%	97.10%	95.90%	95.90%	97.10%	98.00%	99.00%
Demanda Total Outros	%	91.80%	91.80%	91.80%	91.80%	100.00%	97.80%
Atendimento Demanda	%	86.60%	95.10%	95.80%	97.20%	99.10%	99.20%
Carga não atendida	ton	900,411	331,032	281,031	190,766	59,225	57,139

Fonte: Autor

Percebe-se, o impacto insuficiente com o aumento da taxa de produtividade dos berços, uma vez que com 2000 tph e considerando o coeficiente de perdas, a capacidade de carregamento dos navios ainda é maior que a capacidade de recepção rodoviária. Sendo os tempos de espera dos navios de milho ainda altos além do terminal ainda não conseguir atender a demanda prevista, ultrapassando a quantidade de carga limite a ser postergada para o ano seguinte.

A partir disso, foi dispensado o aumento da produtividade no carregamento dos navios e então analisado a inclusão de uma melhoria no sistema de atendimento dos caminhões na operação de tombamento, considerando uma redução no tempo de 10 minutos para 8 minutos. Conforme esperado, houve uma melhoria significativa nos indicadores do sistema,

resolvendo os problemas com o tempo em fila dos navios e dos caminhões e passando a atender a demanda prevista dentro dos limites definidos. Apesar da configuração que atenda o ano de 2025 ter sido encontrada, foi simulado o benefício do aumento da taxa dos CN's, uma vez que o gargalo rodoviário foi foco com a melhoria da operação do tombador. Assim como o quarto silo em 2024, esse investimento pode ser postergado para atender uma necessidade futura.

Partimos para a análise do ano de 2026, onde o terminal iniciará a operação ferroviária para a exportação de farelo. Entrando mais um tipo de produto e um novo modal para o sistema, aumentando sua complexidade e a importância do dimensionamento para atender a demanda prevista mantendo o nível de serviço satisfatório. Os resultados do estudo dessa nova operação no terminal são apresentados na Tabela 21 a seguir.

Tabela 21 - Nova operação ferroviária, infraestrutura e taxas dos CN's (2026)

		(Continua)			
		2026	2026	2026	2026
JANELA	dias	8	8	8	8
TOMBADORES	#	3	3	3	3
SILOS	#	4	4	4	4
MOEGAS	#	3	3	3	3
ARMAZÉNS	#	1	1	2	2
TAXA CN	tph	2000	3000	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	8	8	8	8
Tempo_Aguard_Carga (Média)	hr	179.3	178.2	97.4	84.7
Navios de Grãos					
Tempo_em_FilaporBerco (Média)	hr	79.3	73.6	90.8	81.6
Navio Geral					
Tempo em Fila Entrada (Média)	hr	1	1	1	1
Caminhão					
Carga Total Transportada (ton) - Soja	ton	1,947,252	1,947,252	1,947,252	1,947,252
Carga Total Planejada (ton) - Soja	ton	1,947,252	1,947,252	1,947,252	1,947,252
Carga Total Transportada (ton) - Milho	ton	699,221	699,221	699,221	699,221
Carga Total Planejada (ton) - Milho	ton	699,221	699,221	699,221	699,221
Carga Total Transportada (ton) - Farelo	ton	902,173	902,173	902,173	902,173
Carga Total Planejada (ton) - Farelo	ton	902,173	902,173	902,173	902,173

Fonte: Autor

Tabela 22 - Nova operação ferroviária, infraestrutura e taxas dos CN's (2026)

		(Continuação)			
		2026	2026	2026	2026
JANELA	dias	8	8	8	8
TOMBADORES	#	3	3	3	3
SILOS	#	4	4	4	4
MOEGAS	#	3	3	3	3
ARMAZÉNS	#	1	1	2	2
TAXA CN	tph	2000	3000	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	8	8	8	8
Carga Total Transportada (ton) - AMB (Vergalhão)	ton	150,000	150,000	150,000	150,000
Carga Total Planejada (ton) - AMB (Vergalhão)	ton	150,000	150,000	150,000	150,000
Carga Total Transportada (ton) - AMV (Bobina)	ton	2,739,283	2,739,283	2,739,283	2,739,283
Carga Total Planejada (ton) - AMV (Bobina)	ton	2,800,000	2,800,000	2,800,000	2,800,000
Carga Total Transportada (ton) - Celulose	ton	299,999	299,999	299,999	299,999
Carga Total Planejada (ton) - Celulose	ton	299,999	299,999	299,999	299,999
Carga Total Transportada (ton) - Fertilizantes	ton	798,407	798,407	798,407	798,407
Carga Total Planejada (ton) - Fertilizantes	ton	798,407	798,407	798,407	798,407
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Soja	hr	83.7	72.3	106.2	103
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Milho	hr	20.8	20.3	27.4	30.8
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Farelo	hr	497.2	517	92.7	88.2
Tempo Fundeio (Média) Navio - Soja	hr	178.5	163.5	212.7	202.7
Tempo Fundeio (Média) Navio - Milho	hr	92.9	86.4	90.1	96.7
Tempo Fundeio (Média) Navio - Farelo	hr	585.2	600.3	232.6	218.8
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMB (Vergalhão)	hr	86.2	70	94.4	71.5
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMV (Bobina)	hr	79.8	73.8	87.3	76.6
Tempo Fundeio (Média) Navio - Celulose	hr	28.5	41.8	37	39.5
Tempo Fundeio (Média) Navio - Fertilizante	hr	73.2	60.1	84.9	69.9

Fonte: Autor

Tabela 23 - Nova operação ferroviária, infraestrutura e taxas dos CN's (2026)

		(Continuação)			
		2026	2026	2026	2026
JANELA	dias	8	8	8	8
TOMBADORES	#	3	3	3	3
SILOS	#	4	4	4	4
MOEGAS	#	3	3	3	3
ARMAZÉNS	#	1	1	2	2
TAXA CN	tph	2000	3000	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	8	8	8	8
Número total de navios atendidos	#	197	197	197	197
Número total de caminhões atendidos	#	184,046	184,034	184,121	184,192
Ocupação das Portaria_Entrada	%	17.50%	17.50%	17.50%	17.50%
Ocupação das Balanca_Entrada	%	17.50%	17.50%	17.50%	17.50%
Giros no Silo 1	#	25	25	25	25
Giros no Silo 2	#	25	25	25	25
Giros no Silo 3	#	23	23	23	23
Giros no Silo 4	#	23	23	23	23
Ocupação dos Tombadores	%	41.90%	41.90%	41.90%	41.90%
Ocupação das Balanca_Saida	%	11.70%	11.70%	11.70%	11.70%
Ocupação da Portaria de Saída	%	17.50%	17.50%	17.50%	17.50%
Demanda Total Grãos	ton	3,548,646	3,548,646	3,548,646	3,548,646
Demanda Total Siderúrgicos	ton	2,889,283	2,889,283	2,889,283	2,889,283
Demanda Total Outros	ton	1,098,406	1,098,406	1,098,406	1,098,406
Demanda Total	ton	7,536,335	7,536,335	7,536,335	7,536,335
Demanda Total Grãos	%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Demanda Total Siderúrgicos	%	97.90%	97.90%	97.90%	97.90%
Demanda Total Outros	%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Atendimento Demanda	%	99.10%	99.10%	99.10%	99.10%
Carga não atendida	ton	60,717	60,717	60,717	60,717

Fonte: Autor

Foi estudado a operação com uma quantidade inicial de 3 moegas e um armazém dedicado ao farelo. Com essa configuração, segundo os resultados obtidos, o terminal consegue atender a demanda prevista mantendo o tempo de fila dos caminhões dentro do limite, porém não é a mesma eficiência para os navios de farelo. Com isso, foi verificado o impacto do aumento da eficiência dos CN's e o benefício desse investimento não foi suficiente para que o problema do tempo em fundeio mencionado fosse resolvido. O resultado foi diferente ao

incluir um segundo armazém, com a redução do tempo de formação de carga e o de fundeio para menos que o limite de 10 dias, mas bem próximo dele.

Foi realizado a simulação com a inclusão de ambas as melhorias e é observado que se tem um ganho com relação ao último cenário, mas o tempo em fila de fundeio se mantém próximo do limite. Isso levanta a hipótese de que se fará necessário a implementação de mais infraestrutura ferroviária. Apesar disso, já analisamos o suficiente para definirmos a configuração mínima para atender ao cenário de 2026, mas mantendo a atenção ao modal ferroviário. Esse ponto será investigado ao analisarmos os cenários de 2027 apresentados na Tabela 24 a seguir.

Tabela 24 - Inclusão da 4º ou 5º moega e alteração da taxa dos CN's (2027)

		(Continua)					
		2027	2027	2027	2027	2027	2027
JANELA	dias	8	8	8	8	8	8
TOMBADORES	#	3	3	3	3	3	3
SILOS	#	4	4	4	4	4	4
MOEGAS	#	3	3	4	4	5	5
ARMAZÉNS	#	2	2	2	2	2	2
TAXA CN	tph	2000	3000	2000	3000	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	8	8	8	8	8	8
Tempo_Aguard_Carga (Média)	hr	428.8	375.4	262.8	183.6	309	133.6
Navios de Grãos							
Tempo_em_FilaportBerco (Média)	hr	82.8	69.7	81.4	63.6	126	69.7
Navio Geral							
Tempo em Fila Entrada (Média)	hr	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1
Caminhão							
Carga Total Transportada (ton) - Soja	ton	2,061,651	2,061,651	2,061,651	2,061,651	2,061,651	2,061,651
Carga Total Planejada (ton) - Soja	ton	2,061,651	2,061,651	2,061,651	2,061,652	2,061,653	2,061,655

Fonte: Autor

Tabela 25 - Inclusão da 4º ou 5º moega e alteração da taxa dos CN's (2027)

		(Continuação)					
		2027	2027	2027	2027	2027	2027
JANELA	dias	8	8	8	8	8	8
TOMBADORES	#	3	3	3	3	3	3
SILOS	#	4	4	4	4	4	4
MOEGAS	#	3	3	4	4	5	5
ARMAZÉNS	#	2	2	2	2	2	2
TAXA CN	tph	2000	3000	2000	3000	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	8	8	8	8	8	8
<hr/>							
Carga Total							
Transportada (ton)	ton	746,210	746,210	746,210	746,210	746,210	746,210
- Milho							
Carga Total							
Planejada (ton) -	ton	746,210	746,210	746,210	746,211	746,212	746,214
Milho							
Carga Total							
Transportada (ton)	ton	1,867,680	1,867,680	1,867,680	1,867,680	1,867,680	1,867,680
- Farelo							
Carga Total							
Planejada (ton) -	ton	1,867,680	1,867,680	1,867,680	1,867,681	1,867,682	1,867,684
Farelo							
Carga Total							
Transportada (ton)	ton	150,000	150,000	150,000	150,000	150,000	150,000
- AMB							
(Vergalhão)							
Carga Total							
Planejada (ton) -	ton	150,000	150,000	150,000	150,000	150,000	150,000
AMB (Vergalhão)							
Carga Total							
Transportada (ton)	ton	2,765,880	2,765,880	2,765,880	2,765,880	2,765,880	2,765,880
- AMV (Bobina)							
Carga Total							
Planejada (ton) -	ton	2,800,000	2,800,000	2,800,000	2,800,000	2,800,000	2,800,000
AMV (Bobina)							
Carga Total							
Transportada (ton)	ton	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000
- Celulose							
Carga Total							
Planejada (ton) -	ton	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000
Celulose							

Fonte: Autor

Tabela 26 - Inclusão da 4º ou 5º moega e alteração da taxa dos CN's (2027)

(Continuação)

		2027	2027	2027	2027	2027	2027
JANELA	dias	8	8	8	8	8	8
TOMBADORES	#	3	3	3	3	3	3
SILOS	#	4	4	4	4	4	4
MOEGAS	#	3	3	4	4	5	5
ARMAZÉNS	#	2	2	2	2	2	2
TAXA CN	tph	2000	3000	2000	3000	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	8	8	8	8	8	8
<hr/>							
Carga Total							
Transportada (ton)	ton	688,753	688,753	688,753	688,753	688,753	688,753
- Fertilizantes							
Carga Total							
Planejada (ton) -	ton	728,754	728,754	728,754	728,755	728,756	728,758
Fertilizantes							
Tempo_Aguard_C							
arga (Média)	hr	82	45.2	107.9	46.7	164.1	81.8
Navio - Soja							
Tempo_Aguard_C							
arga (Média)	hr	45.2	33.2	39.4	26.4	93.8	34.6
Navio - Milho							
Tempo_Aguard_C							
arga (Média)	hr	974.2	885.5	528	401.5	559.6	232.3
Navio - Farelo							
Tempo Fundeio							
(Média) Navio -	hr	165.6	117.2	201.4	116.2	283.4	162.6
Soja							
Tempo Fundeio							
(Média) Navio -	hr	140.4	102.1	111.8	96.7	249.3	105.1
Milho							
Tempo Fundeio							
(Média) Navio -	hr	1076.6	972.5	629.3	484.7	717.9	219.9
Farelo							
Tempo Fundeio							
(Média) Navio -	hr	92.1	62.4	99.7	66.9	175.8	57.7
AMB (Vergalhão)							
Tempo Fundeio							
(Média) Navio -	hr	75.9	62.8	68.4	54.9	109.9	64.3
AMV (Bobina)							

Fonte: Autor

Tabela 27 - Inclusão da 4º ou 5º moega e alteração da taxa dos CN's (2027)

		(Continuação)					
		2027	2027	2027	2027	2027	2027
JANELA	dias	8	8	8	8	8	8
TOMBADORES	#	3	3	3	3	3	3
SILOS	#	4	4	4	4	4	4
MOEGAS	#	3	3	4	4	5	5
ARMAZÉNS	#	2	2	2	2	2	2
TAXA CN	tph	2000	3000	2000	3000	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	8	8	8	8	8	8
Tempo Fundeio (Média) Navio - Celulose	hr	109.7	118.2	122.3	87.1	171.7	112
Tempo Fundeio (Média) Navio - Fertilizante	hr	60.1	50	70.5	45.8	110.1	53.8
Número total de navios atendidos	#	215	215	215	215	215	215
Número total de caminhões atendidos	#	185,970	185,984	186,008	186,035	186,015	186,015
Ocupação das Portaria_Entrada	%	17.70%	17.70%	17.70%	17.70%	17.70%	17.70%
Ocupação das Balanca_Entrada	%	17.60%	17.60%	17.60%	17.70%	17.60%	17.70%
Giros no Silo 1	#	26	27	26	27	26	27
Giros no Silo 2	#	26	27	26	27	26	27
Giros no Silo 3	#	26	25	26	25	26	25
Giros no Silo 4	#	26	25	26	25	26	25

Fonte: Autor

Tabela 28 - Inclusão da 4º ou 5º moega e alteração da taxa dos CN's (2027)

		(Continuação)					
		2027	2027	2027	2027	2027	2027
JANELA	dias	8	8	8	8	8	8
TOMBADORES	#	3	3	3	3	3	3
SILOS	#	4	4	4	4	4	4
MOEGAS	#	3	3	4	4	5	5
ARMAZÉNS	#	2	2	2	2	2	2
TAXA CN	tph	2000	3000	2000	3000	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	8	8	8	8	8	8
Ocupação dos Tombadores	%	44.50%	44.50%	44.50%	44.50%	44.50%	44.50%
Ocupação das Balança_Saida	%	11.80%	11.80%	11.80%	11.80%	11.80%	11.80%
Ocupação da Portaria de Saída	%	17.70%	17.70%	17.70%	17.70%	17.70%	17.70%
Demanda Total Grãos	ton	4,675,541	4,675,541	4,675,541	4,675,541	4,675,541	4,675,541
Demanda Total Siderúrgicos	ton	2,915,880	2,915,880	2,915,880	2,915,880	2,915,880	2,915,880
Demanda Total Outros	ton	988,753	988,753	988,753	988,753	988,753	988,753
Demanda Total	ton	8,580,174	8,580,174	8,580,174	8,580,174	8,580,174	8,580,174
Demanda Total Grãos	%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Demanda Total Siderúrgicos	%	98.80%	98.80%	98.80%	98.80%	98.80%	98.80%
Demanda Total Outros	%	96.10%	96.10%	96.10%	96.10%	96.10%	96.10%
Atendimento Demanda	%	98.90%	98.90%	98.90%	98.90%	98.90%	98.90%
Carga não atendida	ton	74,121	74,121	74,121	74,124	74,127	74,133

Fonte: Autor

Para o ano de 2027, a demanda de farelo aumenta substancialmente, quase 1 milhão de toneladas, mais do que dobrando o previsto no ano anterior. Essa maior exigência reflete no sistema ferroviário, que é confirmado com os resultados.

Conforme esperado, a configuração definida para o ano de 2026 já não atende a esse novo cenário, devido a extrapolação do limite de tempo dos navios de farelo em fundeio. Sendo esse o único problema, uma vez que o tempo em fila dos caminhões, as ocupações dos recursos e o atendimento da demanda e demais indicadores se mantiveram dentro dos limites.

Esse problema se mantém tanto com o aumento da eficiência dos CN's, quanto com a inclusão da quarta moega. Mesmo considerando essas duas melhorias, o sistema ainda não consegue dar conta da demanda dentro dos níveis de serviço. Porém, isso muda com a inclusão de duas novas moegas e com o aumento da taxa dos carregadores de navio, sendo então obtido tempos de espera em fundeio abaixo do limite de 10 dias. Com isso chegamos à configuração de 5 moegas ferroviárias, CN's passando a operar com uma taxa de 3.000 tph e mantendo os 2 armazéns dedicados ao farelo.

A seguir foi analisado o ano de 2028, onde há um pequeno aumento da demanda em relação ao ano anterior, mas que pode ser o suficiente para exigir algum investimento portuário. Os resultados dessa análise são apresentados na Tabela 29 a seguir.

Tabela 29 - Alteração da produtividade dos CN's (2028)

		(Continua)	
		2028	2028
JANELA	dias	8	8
TOMBADORES	#	3	3
SILOS	#	4	4
MOEGAS	#	5	5
ARMAZÉNS	#	2	2
TAXA CN	tph	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	8	8
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navios de Grãos	hr	234.7	90.1
Tempo_em_FilaporBerco (Média) Navio Geral	hr	101.6	60.9
Tempo em Fila Entrada (Média) Caminhão	hr	1.2	1.1
Carga Total Transportada (ton) - Soja	ton	2,076,907	2,079,003
Carga Total Planejada (ton) - Soja	ton	2,076,907	2,079,003

Fonte: Autor

Tabela 30 - Alteração da produtividade dos CN's (2028)

		(Continuação)	
		2027	2028
JANELA	dias	8	8
TOMBADORES	#	3	3
SILOS	#	4	4
MOEGAS	#	5	5
ARMAZÉNS	#	2	2
TAXA CN	tph	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	8	8
Carga Total Transportada (ton) - Milho	ton	747,729	758,399
Carga Total Planejada (ton) - Milho	ton	747,729	758,399
Carga Total Transportada (ton) - Farelo	ton	1,911,699	1,923,570
Carga Total Planejada (ton) - Farelo	ton	1,911,699	1,923,570
Carga Total Transportada (ton) - AMB (Vergalhão)	ton	150,000	150,000
Carga Total Planejada (ton) - AMB (Vergalhão)	ton	150,000	150,000
Carga Total Transportada (ton) - AMV (Bobina)	ton	2,735,610	2,768,615
Carga Total Planejada (ton) - AMV (Bobina)	ton	2,800,000	2,800,000
Carga Total Transportada (ton) - Celulose	ton	300,001	300,000
Carga Total Planejada (ton) - Celulose	ton	300,001	300,000
Carga Total Transportada (ton) - Fertilizantes	ton	695,683	677,415
Carga Total Planejada (ton) - Fertilizantes	ton	695,683	677,415
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Soja	hr	195.7	29.5
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Milho	hr	102.6	27.5
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Farelo	hr	329.8	152.1
Tempo Fundeio (Média) Navio - Soja	hr	320.8	100.7
Tempo Fundeio (Média) Navio - Milho	hr	220	116.3
Tempo Fundeio (Média) Navio - Farelo	hr	461.8	221.7
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMB (Vergalhão)	hr	104.5	18.1
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMV (Bobina)	hr	87.8	49
Tempo Fundeio (Média) Navio - Celulose	hr	94.7	60.7
Tempo Fundeio (Média) Navio - Fertilizante	hr	68.6	48.3
Número total de navios atendidos	#	219	219
Número total de caminhões atendidos	#	186,010	186,245
Ocupação das Portaria_Entrada	%	17.70%	17.70%
Ocupação das Balanca_Entrada	%	17.60%	17.70%
Giros no Silo 1	#	27	26
Giros no Silo 2	#	27	26
Giros no Silo 3	#	25	26
Giros no Silo 4	#	25	26

Fonte: Autor

Tabela 31 - Alteração da produtividade dos CN's (2028)

(Continuação)

		2027	2028
JANELA	dias	8	8
TOMBADORES	#	3	3
SILOS	#	4	4
MOEGAS	#	5	5
ARMAZÉNS	#	2	2
TAXA CN	tph	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	8	8
Ocupação dos Tombadores	%	44.80%	45.00%
Ocupação das Balança_Saida	%	11.80%	11.80%
Ocupação da Portaria de Saída	%	17.70%	17.70%
Demanda Total Grãos	ton	4,736,335	4,760,972
Demanda Total Siderúrgicos	ton	2,885,610	2,918,615
Demanda Total Outros	ton	995,684	977,415
Demanda Total	ton	8,617,629	8,657,002
Demanda Total Grãos	%	100.00%	100.00%
Demanda Total Siderúrgicos	%	97.80%	98.90%
Demanda Total Outros	%	100.00%	100.00%
Atendimento Demanda	%	99.00%	99.50%
Carga não atendida	ton	64,390	31,391

Fonte: Autor

Para efeito de comparação, foi apresentado os resultados de um cenário onde a taxa dos CN's (aumentada no ano anterior) foi reduzida para os 2000tph. Com isso fica claro a importância dessa melhoria realizada para obter os indicadores dentro dos níveis ideais, principalmente o indicador referente ao tempo em fundeio.

Assim, com a infraestrutura do ano de 2027, o terminal consegue atender também a nova demanda mantendo o nível de serviço satisfatório. Porém, vale a pena lembrar que apesar disso, o indicador de tempo em fundeio dos navios já pode ser considerado um possível ponto de atenção por estar próximo do limite.

Por fim, os resultados do estudo do ano de 2029 é apresentado na Tabela 32 a seguir.

Tabela 32 - Alteração da produtividade dos CN's (2029)

(Continua)

		2029	2029
JANELA	dias	8	8
TOMBADORES	#	3	3
SILOS	#	4	4
MOEGAS	#	5	5
ARMAZÉNS	#	2	2
TAXA CN	tph	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	8	8
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navios de Grãos	hr	419.7	93.4
Tempo_em_FilaporBerco (Média) Navio Geral	hr	115.1	31.7
Tempo em Fila Entrada (Média) Caminhão	hr	1.3	0.6
Carga Total Transportada (ton) - Soja	ton	2,204,543	2,204,543
Carga Total Planejada (ton) - Soja	ton	2,204,545	2,204,543
Carga Total Transportada (ton) - Milho	ton	750,845	750,845
Carga Total Planejada (ton) - Milho	ton	795,457	806,261
Carga Total Transportada (ton) - Farelo	ton	2,006,185	2,006,185
Carga Total Planejada (ton) - Farelo	ton	2,006,185	2,006,185
Carga Total Transportada (ton) - AMB (Vergalhão)	ton	149,999	149,999
Carga Total Planejada (ton) - AMB (Vergalhão)	ton	149,999	149,999
Carga Total Transportada (ton) - AMV (Bobina)	ton	2,775,083	2,775,083
Carga Total Planejada (ton) - AMV (Bobina)	ton	2,800,000	2,800,000
Carga Total Transportada (ton) - Celulose	ton	300,000	300,000
Carga Total Planejada (ton) - Celulose	ton	300,000	300,000
Carga Total Transportada (ton) - Fertilizantes	ton	668,780	668,780
Carga Total Planejada (ton) - Fertilizantes	ton	668,780	668,780
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Soja	hr	203.9	10.8
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Milho	hr	339.5	0
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Farelo	hr	683.3	218
Tempo Fundeio (Média) Navio - Soja	hr	326.8	43.5
Tempo Fundeio (Média) Navio - Milho	hr	490.8	31.8
Tempo Fundeio (Média) Navio - Farelo	hr	835.7	230.6
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMB (Vergalhão)	hr	138.1	36.2
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMV (Bobina)	hr	99.9	15
Tempo Fundeio (Média) Navio - Celulose	hr	126.7	8.5
Tempo Fundeio (Média) Navio - Fertilizante	hr	73.2	14.1

Fonte: Autor

Tabela 33 - Alteração da produtividade dos CN's (2029)

		(Continuação)	
		2029	2029
JANELA	dias	8	8
TOMBADORES	#	3	3
SILOS	#	4	4
MOEGAS	#	5	5
ARMAZÉNS	#	2	2
TAXA CN	tph	2000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	8	8
Número total de navios atendidos	#	222	222
Número total de caminhões atendidos	#	191,379	191,379
Ocupação das Portaria_Entrada	%	18.20%	18.20%
Ocupação das Balanca_Entrada	%	18.20%	18.20%
Giros no Silo 1	#	27	28
Giros no Silo 2	#	27	28
Giros no Silo 3	#	27	26
Giros no Silo 4	#	27	26
Ocupação dos Tombadores	%	47.70%	47.70%
Ocupação das Balanca_Saida	%	12.20%	12.20%
Ocupação da Portaria de Saída	%	18.20%	18.20%
Demanda Total Grãos	ton	4,961,573	4,961,573
Demanda Total Siderúrgicos	ton	2,925,082	2,925,082
Demanda Total Outros	ton	968,780	968,780
Demanda Total	ton	8,855,435	8,855,435
Demanda Total Grãos	%	99.10%	99.10%
Demanda Total Siderúrgicos	%	99.20%	99.20%
Demanda Total Outros	%	100.00%	100.00%
Atendimento Demanda	%	99.00%	99.00%
Carga não atendida	ton	69,531	69,529

Fonte: Autor

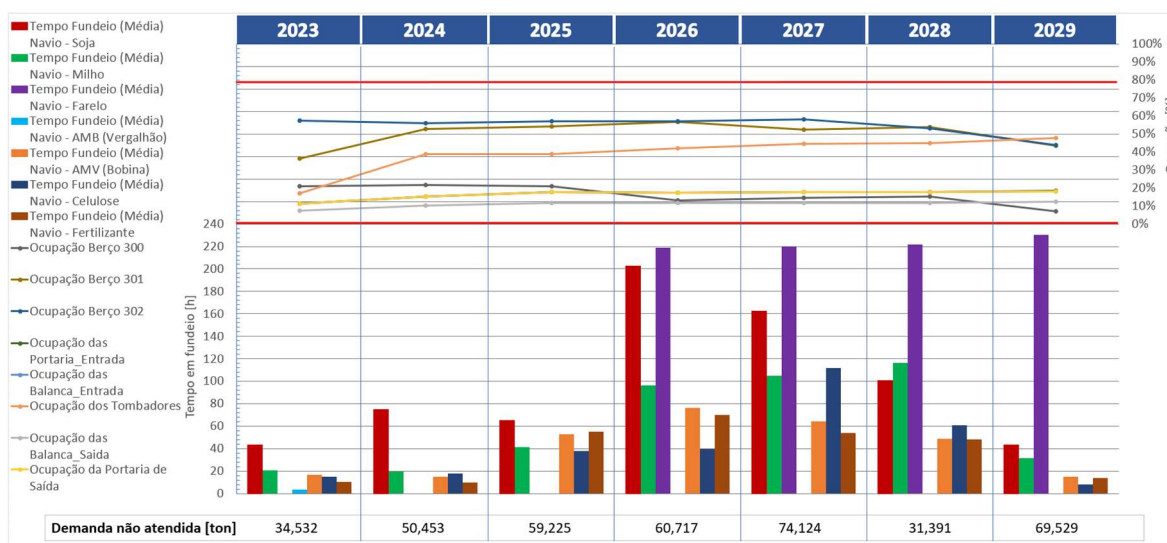
Da mesma forma que foi estudada o desempenho do ano de 2028, apresentando os resultados para uma menor taxa de operação dos CN's, foi realizada para o último ano de análise para comparação.

É observado que a infraestrutura também se faz suficiente para 2029, onde houve um pequeno aumento da demanda prevista em relação ao ano anterior. Porém é importante ressaltar que o sistema pode ser considerado em situação delicada para o modal ferroviário,

este exclusivo para o farelo. Isso deve-se pelo tempo em fundeio dos navios desse produto se encontrar muito próximo do limite, sendo provavelmente interessante cogitar uma melhoria nesse sistema ferroviário para ter um fôlego maior em caso de aumento da projeção de demanda de farelo.

Os principais indicadores foram apresentados de forma gráfica na Figura 20 - Gráfico comparativo dos grupos de cenários (análise de sensibilidade) a seguir, onde podemos verificar que com as configurações definidas para cada ano, o terminal consegue atender a demanda prevista com as ocupações se mantendo abaixo dos 80% e com tempo médio dos navios em fundeio dentro do limite dos 10 dias (240 horas). Sendo visível que o sistema não apresenta problemas com relação às ocupações dos recursos nem com relação ao atendimento das demandas, porém fica evidente que a operação ferroviária de farelo é o principal ponto de atenção do terminal conforme o tempo que seus navios se mantêm próximo do limite desde o ano em que se inicia a sua atividade (2026).

Figura 17 - Principais indicadores das configurações definidas (2023 - 2029)



Fonte: Autor

Aproveitando o cenário de maior demanda, foi realizado uma análise do quanto a característica dos produtos sazonais impacta no desempenho dos terminais, sendo esse um fator a mais de complexidade. A seguir é apresentado a Tabela 34 com os resultados lado a lado do cenário ideal obtido na última análise e o caso hipotético onde a demanda dos grãos (soja, milho, farelo e fertilizante) é considerada uniforme durante o ano.

Tabela 34 - Análise do impacto da sazonalidade dos grãos (2029)

			(Continua)	
			2029	2029
			2029	(sem sazonalidade)
JANELA	dias	8	8	8
TOMBADORES	#	3	3	3
SILOS	#	4	4	4
MOEGAS	#	5	5	5
ARMAZÉNS	#	2	2	2
TAXA CN	tph	3000	3000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	8	8	8
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navios de Grãos	hr	93.4	14.9	
Tempo_em_FilaporBerco (Média) Navio Geral	hr	31.7	44.6	
Tempo em Fila Entrada (Média) Caminhão	hr	0.6	0.5	
Carga Total Transportada (ton) - Soja	ton	2,204,543	2,204,544	
Carga Total Planejada (ton) - Soja	ton	2,204,543	2,204,544	
Carga Total Transportada (ton) - Milho	ton	750,845	737,734	
Carga Total Planejada (ton) - Milho	ton	806,261	795,456	
Carga Total Transportada (ton) - Farelo	ton	2,006,185	2,000,004	
Carga Total Planejada (ton) - Farelo	ton	2,006,185	2,000,004	
Carga Total Transportada (ton) - AMB (Vergalhão)	ton	149,999	150,000	
Carga Total Planejada (ton) - AMB (Vergalhão)	ton	149,999	150,000	
Carga Total Transportada (ton) - AMV (Bobina)	ton	2,775,083	2,800,000	
Carga Total Planejada (ton) - AMV (Bobina)	ton	2,800,000	2,800,000	
Carga Total Transportada (ton) - Celulose	ton	300,000	300,000	
Carga Total Planejada (ton) - Celulose	ton	300,000	300,000	
Carga Total Transportada (ton) - Fertilizantes	ton	668,780	660,510	
Carga Total Planejada (ton) - Fertilizantes	ton	668,780	660,510	
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Soja	hr	10.8	5	
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Milho	hr	0	13.3	
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navio - Farelo	hr	218	23.8	
Tempo Fundeio (Média) Navio - Soja	hr	43.5	49.8	
Tempo Fundeio (Média) Navio - Milho	hr	31.8	85.7	
Tempo Fundeio (Média) Navio - Farelo	hr	230.6	65.5	
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMB (Vergalhão)	hr	36.2	22.3	
Tempo Fundeio (Média) Navio - AMV (Bobina)	hr	15	48.6	
Tempo Fundeio (Média) Navio - Celulose	hr	8.5	27.1	
Tempo Fundeio (Média) Navio - Fertilizante	hr	14.1	26.6	

Fonte: Autor

Tabela 35 - Análise do impacto da sazonalidade dos grãos (2029)

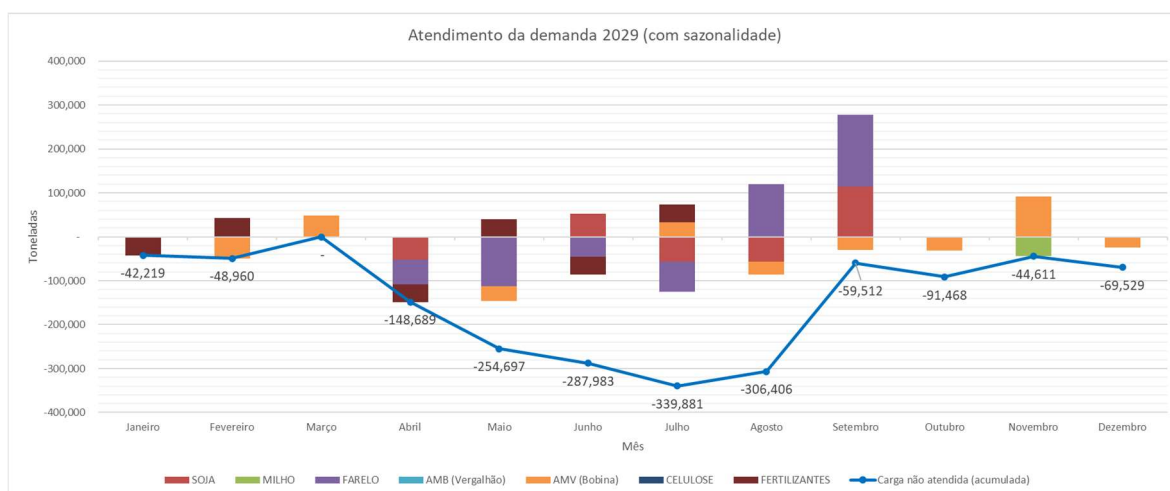
		(Continuação)	
		2029	2029 (sem sazonalidade)
JANELA	dias	8	8
TOMBADORES	#	3	3
SILOS	#	4	4
MOEGAS	#	5	5
ARMAZÉNS	#	2	2
TAXA CN	tph	3000	3000
TEMPO TOMBADOR	min	8	8
Número total de caminhões atendidos	#	191,379	191,379
Ocupação das Portaria_Entrada	%	18.20%	18.10%
Ocupação das Balanca_Entrada	%	18.20%	18.10%
Giros no Silo 1	#	28	29
Giros no Silo 2	#	28	28
Giros no Silo 3	#	26	26
Giros no Silo 4	#	26	26
Ocupação dos Tombadores	%	47.70%	47.60%
Ocupação das Balanca_Saida	%	12.20%	12.10%
Ocupação da Portaria de Saída	%	18.20%	18.10%
Demanda Total Grãos	ton	4,961,573	4,942,282
Demanda Total Siderúrgicos	ton	2,925,082	2,950,000
Demanda Total Outros	ton	968,780	960,510
Demanda Total	ton	8,855,435	8,852,792
Demanda Total Grãos	%	99.10%	98.80%
Demanda Total Siderúrgicos	%	99.20%	100.00%
Demanda Total Outros	%	100.00%	100.00%
Atendimento Demanda	%	99.00%	99.20%
Carga não atendida	ton	69,529	57,722

Fonte: Autor

Podemos verificar como uma demanda mais uniformemente distribuída no ano é mais benéfica operacionalmente ao terminal. Representado pela significativa redução do tempo dos navios de grãos esperando a formação de carga e conseqüentemente o tempo de fundeio, em especial aos navios de farelo. Essa melhoria deve-se principalmente ao fato de que com a menor concentração de demanda em alguns meses, o terminal não sofre com a maior exigência operacional em determinados períodos do ano e uma maior ociosidade em outros.

Esse impacto na operação do sistema portuário pode ser ilustrado com os dois gráficos a seguir (Figura 18 e Figura 19). Primeiramente, os gráficos apresentam dois indicadores: (1) para as barras coloridas, a quantidade de demanda não atendida, ficando abaixo da linha central (representa o valor zero) ou a excedida em relação ao previsto no mês ficando acima da mesma referência zero. Para exemplificar, no gráfico com sazonalidade, o terminal não conseguiu atender 42.219 toneladas de fertilizantes previstas para esse mês de janeiro, porém já em fevereiro esse déficit foi atendido ao mesmo tempo que houve o atraso de 48.960 toneladas do produto siderúrgico AMV (bobina) e assim por diante. (2) Para o gráfico de linha, há a representação do resultado total do atendimento do mês em questão. Para exemplificar, nesse mesmo gráfico, se analisarmos o saldo os três primeiros meses no ano, podemos verificar que em janeiro e fevereiro houve um atraso no atendimento que foi resolvido em março pelo valor zero nesse mês.

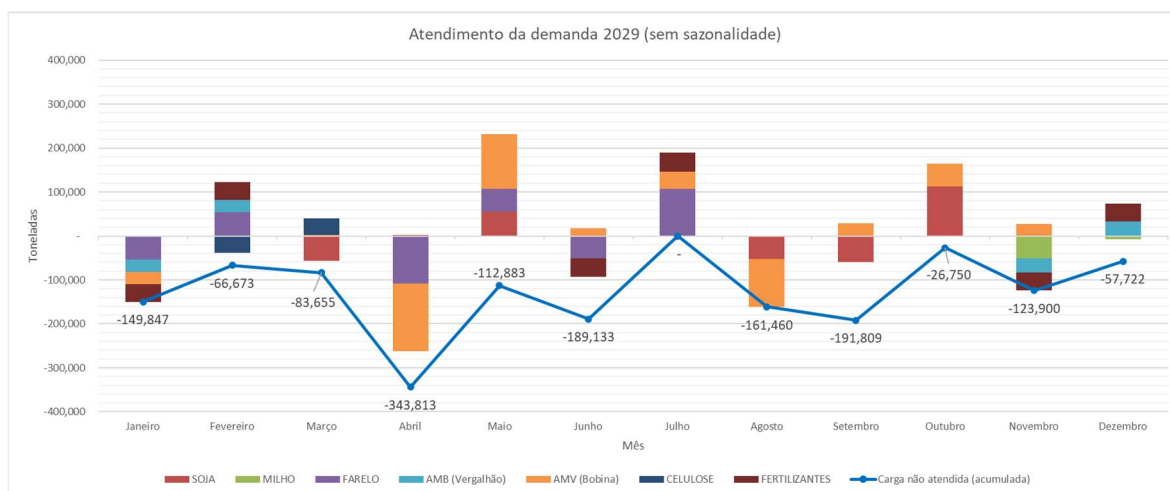
Figura 18 - Atendimento da demanda com a sazonalidade de grãos (2029)



Fonte: Autor

A partir desse gráfico, podemos verificar a semelhança entre a demanda que não é atendida dentro do mês previsto e a distribuição dos grãos mostrado na Figura 14. Como exemplo, o pico de atraso é atingido em julho, o mesmo mês que é o maior volume de grãos previstos. Isso faz sentido, uma vez que esses aumentos da carga não atendida é um reflexo do aumento da demanda causada pelas características da sazonalidade dos grãos.

Figura 19 - Atendimento da demanda sem a sazonalidade dos grãos (2029)



Fonte: Autor

Com o cenário hipotético em que a demanda de grãos não possui a sazonalidade, podemos verificar a maior uniformidade no comportamento da carga não atendida em relação ao resultado considerando essa característica. O que é esperado, pelo mesmo motivo já explicado sobre a concentração de demanda em certos períodos do ano, sendo benéfico ao terminal pelo fato desse problema não se acumular expressivamente na safra de grãos como ocorreu com a sazonalidade.

A partir desses resultados iniciais, foram construídos 11 diferentes conjuntos de cenários para demonstrar as variações/análises de sensibilidade em relação a janela de formação da carga, número de tombadores e silos, taxa de produtividade do carregamento e tempo de ciclo dos tombadores.

Para o sistema ferroviário, como já foi descrito, foram considerados até dois armazéns, com capacidade para armazenagem de 80.000 toneladas de grãos cada um, adicionados à simulação dos grupos de cenários de G a K, conforme a Tabela 36.

Tabela 36 - Grupos e cenários simulados

ANOS	CONFIGURAÇÃO																
	A	B		C		D		E		F		G	H	I	J	K	
	Cen.	Base															
	2023	2023	2026	2023	2026	2023	2026	2023	2026	2023	2026	2027	2027	2027	2027	2027	
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	
2025	2025	2029	2025	2029	2025	2029	2025	2029	2025	2029	2029	2029	2029	2029	2029	2029	
JANELA [dias]	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8	8	4	8	8	8	8	
TOMBADORES	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
SILOS	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
ARMAZÉNS	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	2	2	2	2	2	
MOEGAS	0	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3	3	3	3	3	3	
TAXA CN [tph]	2000	2000	2000	2000	2000	2000	3000	3000	2000	2000	3000	3000	2000	2000	3000	2000	3000
TEMPO TOMBADOR [min]	10	10	10	10	10	10	10	10	8	8	8	8	10	10	10	8	8

Fonte: Autor

Estes grupos de cenários foram ainda subdivididos de acordo com a demanda a ser movimentada. Uma vez que existem novos cenários considerando a operação ferroviária, torna-se importante também apresentar o conjunto de premissas utilizadas para as simulações, o que será feito a seguir.

Para essa análise de sensibilidade foram simulados, ao final, 53 diferentes cenários, considerando as características apresentadas anteriormente para os grupos de A até K e as demandas sugeridas para os anos de 2023 a 2029.

Dentre os diversos indicadores gerados pelo modelo, considera-se que o tempo de espera para a formação da carga do navio é importante e pode representar restrições significativas. Avaliar não só a demanda atendida em cada cenário, mas também sob quais condições ela é atendida é essencial para se determinar a capacidade dele.

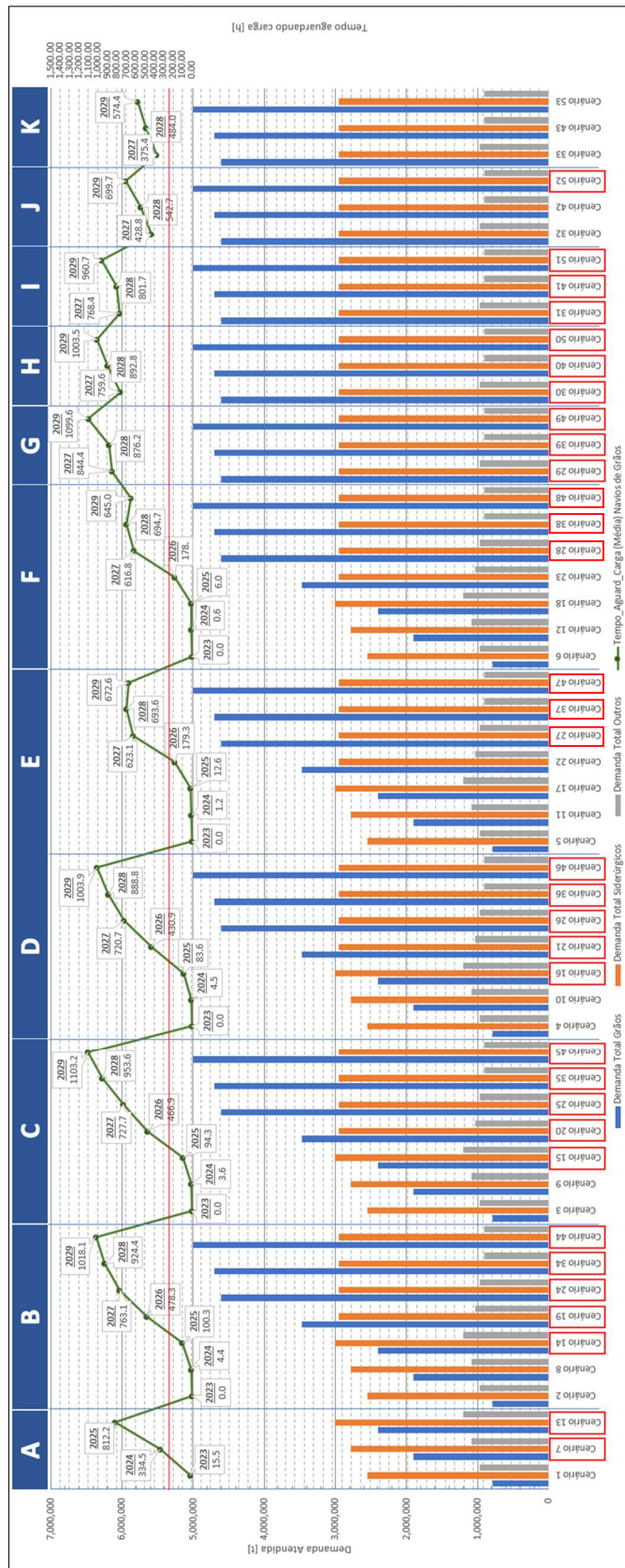
Os resultados serão apresentados consolidados na Figura 20, que apresenta para cada simulação (demanda/grupo de cenário) qual a demanda atendida para cada um dos tipos de

produtos e qual o tempo médio de espera para formação de cargas, um indicador considerado importante e restritivo ao nível de serviço da operação.

Em cada “coluna” do gráfico é possível identificar a demanda movimentada (eixo da esquerda – gráficos de barras) e o tempo médio de espera para formação das cargas (eixo da direita – gráfico de linha);

Uma boa forma de avaliar o gráfico é, primeiramente, observar a demanda atendida no cenário e, em seguida, observar se para atender essa demanda o tempo de espera foi muito alto. Um cenário pode ser considerado adequado quando a demanda atendida for satisfatória e em paralelo os navios não esperaram um tempo tão significativo para formação da carga.

Figura 20 - Gráfico comparativo dos grupos de cenários (análise de sensibilidade)



Podemos tomar como exemplo a simulação do grupo F em 2028 (3 tombadores, 4 silos, 1 armazém e 3 moegas para recepção ferroviária e uma taxa de 3.000tph para os CN's conforme tabela de combinações): nesse cenário 91.3% da demanda total de grãos atendida é de 4,3 mtpa, e para isso os navios aguardam 694,7 horas até a formação da sua carga além da espera por berço o que é considerado alto. Por outro lado, o cenário 17 do grupo E em 2025 (janela de 8 dias, 3 tombadores, 4 silos e 8 minutos de tempo de tombador) conseguiu atender toda demanda e manteve um nível de serviço dentro do desejável, com uma média de 12,6 horas de fila para os navios de grãos.

Os cenários que estão com sua identificação destacada com um retângulo vermelho são aqueles em que o terminal não conseguiu atender a demanda de forma aceitável, ou seja, com uma quantidade de carga não atendida dentro do ano de análise. Com isso, ao verificar aqueles todos os cenários onde a demanda anual proposta foi atendida, mas muitas vezes apresentando penalidades ao nível de serviço. Ou seja, com um tempo em fila abaixo dos 10 dias (240 horas). Podemos exemplificar com o cenário 53 pertencente ao grupo K (3 tombadores, 4 silos, 2 armazéns, 3 moegas, uma produtividade de 3.000tph para os CN's e com a redução do tempo de operação nos tombadores para 8 minutos), onde sua configuração foi capaz de atender a demanda prevista, porém com um nível de serviço baixo. Uma vez que para isso, houve um tempo médio em fila dos navios de grãos esperando a formação de carga de 574.4 horas, um valor extremamente alto.

Também é importante levar em conta que as demandas previstas para a partir de 2027 só foram atendidas a partir do momento em que há a melhoria no tempo de operação do tombador de 10 para 8 minutos. Demonstrando a importância desse recurso para que o terminal consiga cumprir com os níveis de demanda principalmente dos anos em que a operação ferroviária entrará em vigor.

7 CONCLUSÕES

A partir dos resultados e análises realizadas dos cenários propostos, temos como possível planejamento de investimento em infraestrutura visando o atendimento das previsões de demanda resumido na Tabela 37 abaixo.

Tabela 37 - Configuração mínima e alterações (2023 - 2029)

	<i>DEMANDA [toneladas] (INPUT)</i>						
	<i>2023</i>	<i>2024</i>	<i>2025</i>	<i>2026</i>	<i>2027</i>	<i>2028</i>	<i>2029</i>
SOJA	575,386	1,398,416	1,763,635	1,913,544	2,028,181	2,072,271	2,204,544
MILHO	207,614	504,584	636,365	690,456	731,819	747,729	795,456
FARELO	-	-	-	868,000	1,840,000	1,880,000	2,000,000
SIDERURGICO (Vergalhão)	155,000	178,000	200,000	150,000	150,000	150,000	150,000
SIDERURGICO (Bobina)	2,398,000	2,599,000	2,800,000	2,800,000	2,800,000	2,800,000	2,800,000
CELULOSE	368,000	384,000	400,000	300,000	300,000	300,000	300,000
FERTILIZANTES	600,000	700,000	800,000	735,000	670,000	600,000	600,000
TOTAL	4,304,000	5,764,000	6,600,000	7,457,000	8,520,000	8,550,000	8,850,000
JANELA	4	4	8	8	8	8	8
TOMBADORES	2	3	3	3	3	3	3
SILOS	3	3	4	4	4	4	4
ARMAZÉNS	0	0	0	2	2	2	2
MOEGAS	0	0	0	3	5	5	5
TAXA CN [tph]	2000	2000	2000	2000	3000	3000	3000
TEMPO TOMBADOR [min]	10	10	8	8	8	8	8
Legenda:	1ª alteração	2ª alteração	3ª alteração	4ª alteração			

Fonte: Autor

Conforme a tabela acima, inicialmente a infraestrutura atual do terminal já atende o ano 2023, porém a mesma configuração já não consegue lidar de forma satisfatória os níveis de demanda de 2024. Dessa forma, sendo necessário o primeiro investimento, sendo a quantidade de tombadores o ativo necessário para isso. Percebe-se que esse tombador extra será o suficiente para atender os próximos 6 anos seguintes.

Seguindo para o ano de 2025, foi identificado a necessidade de 3 novos investimentos: (1) em um novo silo para armazenagem de grãos (Soja e Milho); (2) melhor planejamento de recepção rodoviária e uma janela maior de chegada dos caminhões; (3) redução do tempo de descarregamento dos caminhões. Assim como nos investimentos apontados para o ano de 2023, esses novos também irão atender de forma satisfatória os demais anos até 2029.

Analisando os resultados de 2026, onde iniciou-se a operação ferroviária para a operação do farelo, inevitavelmente haverá um gasto extra. Sendo necessário 2 armazéns, que atenderão os demais anos, e 3 moegas conectadas a ambos. Dessa vez, diferentemente dos investimentos anteriores, a quantidade de moegas já não será o suficiente para o ano seguinte. Sendo já necessário a mudança de 3 para 5 equipamentos de descarregamento ferroviário, isso justificado pelo aumento considerável da demanda ferroviária que foi de 868 mil toneladas para 1,84 milhões de toneladas (aumento de 972 mil toneladas, ou aproximadamente 112% de crescimento).

Conforme foi explicado sobre a nova demanda de farelo, em 2027 haverá a necessidade de mais moegas para atender a quantidade de comboios ferroviários previstos. Esse aumento de mais 2 novas moegas não é o único ponto a ser considerado, sendo também foco de investimento o aumento da taxa de carregamento dos navios. Essa nova infraestrutura já é suficiente para atender as previsões de demanda dos demais anos até 2029. Apesar disso, vale a atenção com relação ao tempo dos navios de farelo em fundeio que já está próximo ao limite de 240 horas. Com isso em mente, é possível que já nesse ano o terminal tenha alguma dificuldade em manter o nível de serviço, podendo ter custos indesejáveis de *demurrage*. Levando em consideração que os demais produtos não apresentam esse problema, provavelmente o investimento se voltará para o sistema ferroviário com mais moegas e/ou armazém para farelo.

A partir desse estudo, foi possível chegar nessas recomendações, porém vale a discussão interna do terminal portuário se irão seguir esse planejamento. Principalmente após uma análise financeira desses investimentos, sendo possível uma decisão de reduzir o aumento da demanda prevista para adiar os novos custos adicionais em equipamentos ou mesmo adiantar esses investimentos. Sendo esse último caso, exemplificado nos anos de 2026 e 2027, onde de um ano para outro há a necessidade de 2 novas moegas. Dependendo, o investimento de 5 moegas já em 2026 possa ser mais interessante.

A visão do desempenho do terminal para os próximos anos de atuação é extremamente importante para o planejamento dos investimentos portuários. Um dos pontos que justificam isso é devido aos elevados custos que são relacionados à inclusão de novos armazéns, carregadores de navios, moegas e demais infraestruturas.

Outra questão relevante é pelo fato de que é possível limitar a capacidade do terminal e aumentar custos futuros devido à falta de visão dos aumentos de demandas com o crescimento do negócio. É importante notar que com essa análise utilizando um modelo de simulação, principalmente nesse estudo de caso em que iniciará a operação ferroviária, a informação de que serão necessárias pelo menos 5 moegas para atender as demandas previstas. Isso é de grande valia, devido ao fato de que o desenvolvimento do *layout* para essa nova operação fica coberto contra possíveis erros de planejamento, onde hipoteticamente caso o terminal não tenha sua infraestrutura já preparada para mais moegas, crie um problema de disposição desses novos equipamentos futuramente que pode impactar na eficiência nas suas operações. Essa observação não se aplica somente às moegas, mas a outros ativos como armazéns, silos, viradores de vagão, tombadores, carregadores de navios. No caso deste último, a sua substituição para um novo envolve um custo extremamente elevado em comparação à somente instalação de mais um no berço.

Vale pontuar o impacto das características sazonais da demanda de grãos na eficiência operacional do terminal, que conforme ilustrado, acabam exigindo muito do sistema durante sua safra. Fazendo com que a infraestrutura tenha um período de alta ocupação e outro com maior ociosidade durante o ano. Essa complexidade extra torna ainda mais relevante o estudo de dimensionamento do sistema para que esse impacto seja levado em conta no projeto portuário.

Através das análises realizadas dos resultados obtidos em diferentes cenários propostos, foi possível obter uma melhor compreensão do desempenho do terminal em teste para diferentes demandas. Essas informações se mostraram uma base importante para a tomada de decisão em relação a investimentos futuros, auxiliando o planejamento de forma a atender as previsões a níveis desejados de serviço. Dessa forma, foi alcançado o objetivo principal da dissertação de como definir um planejamento de investimento em infraestrutura portuária baseando-se em avaliações da capacidade do terminal através da utilização de um modelo de simulação.

Além disso, o objetivo secundário também foi alcançado com o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que possibilita sua utilização em problemas similares. Entretanto, será necessário realizar ajustes nos parâmetros de entrada na *interface* de acordo com o novo sistema e, possivelmente, adaptações para a inclusão de particularidades do projeto, proporcionando assim flexibilidade para outros estudos.

7.1 Trabalhos futuros

Como possíveis trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos a partir deste estudo, inúmeras vertentes podem ser mencionadas, principalmente considerando o desenvolvimento de um modelo mais genérico. Dentre elas:

A inclusão de novos parâmetros que possibilitem a análise de características diferentes de operação, como a de *ship-to-ship* que é a transferência de carga entre embarcações em movimento ou fundeadas; restrição de calado para acesso a determinados trechos de navegação ou mesmo para atracar em um berço; ou mesmo para que o modelo represente melhor alguma característica operacional do sistema.

Outro desenvolvimento relevante que pode ser realizado é a implementação da operação portuária de contêineres, uma vez que o modelo atualmente não está preparado para representar esse tipo de manuseio de carga, principalmente devido ao gerenciamento no pátio de armazenagem e equipamentos peculiares desse sistema.

Assim como os contêineres, a operação dutoviária que está presente em terminais que atendem produtos como petróleo, gasolina, álcool entre outros, também possui suas características e não está implementada no modelo.

O modelo não representa a navegação dos navios no canal de acesso, o que impede de ser utilizado para analisar impactos nessa região a partir de políticas operacionais. Uma limitação semelhante pode ser apontada para às rotas de acesso dos veículos rodoviários à portaria de entrada no terminal.

É comum existir uma frota de rebocadores que auxiliam a manobra dos navios tanto na atracação quanto na desatracação. Esse recurso não está presente no modelo, sendo que o dimensionamento da quantidade desses rebocadores pode ser importante para a capacidade de recebimento de carga no terminal.

Tão importante quanto a análise da infraestrutura necessária para a operação do terminal de forma eficiente para previsões de demanda, a análise financeira se faz fundamental para viabilizar o empreendimento e planejamento do porto. Uma vez que se o investimento ultrapassar o capital disponível, o planejamento de demanda precisará ser revisto para não ter problemas contratuais na movimentação das cargas. Muitos fatores envolvem essa análise, não somente a quantidade de recursos como carregadores de navios, moegas, tombadores de caminhão e armazéns, mas também os valores de *demurrage* e *despatch* decorrentes da eficiência do terminal.

Existe infraestrutura que não é representada no modelo, que são as correias transportadoras, responsáveis para o deslocamento dos produtos da armazenagem para o navio e vice-versa. Onde o conjunto de recurso tombador de caminhão, correia transportadora e silo pode ser definido como uma rota. Como os recursos não são infinitos, existe uma disputa dessas rotas entre os agentes, tanto o navio quanto caminhões e trens. Além do fato que as correias possuem capacidade de movimentação, sendo outro fator que pode limitar a produtividade dos demais equipamentos. Sem a sua implementação mais precisa no modelo, acaba restringindo a análise mais minuciosa do sistema quanto a possíveis aumentos da capacidade desse recurso ou mesmo o impacto de novas ligações entre os sistemas de armazenamento e de carga/descarga.

Outro ponto que pode ser abordado é a inclusão de mais portos no mesmo modelo, o que possibilitaria a análise do desempenho de mais de um terminal simultaneamente, assim como os impactos entre eles. Uma vez que ao incluir também o canal de acesso a ambos, a quantidade de navios de um terminal que acessa esse recurso para atender a demanda sua demanda pode impactar na capacidade portuária do outro.

Apêndice A - *Interface* para dados de entrada e resultados

A.1 Descrição básica da *Interface* do modelo

Como já informado, o software utilizado para desenvolvimento dos modelos de simulação é o Anylogic e ele disponibiliza ao usuário a possibilidade de se “alimentar o modelo” com dados por meio de:

- a) Entrada direta dos dados no modelo;
- b) Leitura dos dados armazenados em arquivos;
- c) Leitura dos dados de entrada armazenados em planilhas Excel;
- d) A combinação de dados armazenados em planilhas Excel e rotinas desenvolvidas em VBA para Excel.

Em função do número de parâmetros associados ao problema em estudo e pelo volume de dados de entrada a serem fornecidos ao modelo matemático, a *interface* desse modelo utiliza-se da alternativa “d” listada acima. Vale ainda mencionar que a *interface* não trata apenas do fornecimento de dados para o Modelo Matemático, mas também da recuperação dos resultados ao final do processamento de qualquer cenário estudado e formatação destes em tabelas com os resultados.

A.2 Visão geral da *interface*

Características básicas da *interface* desenvolvida:

- O software utilizado: Microsoft Excel (2016).
- Tipo de arquivo: Planilha Habilitada para Macros do Microsoft Excel (.xlsm)
- Nome do arquivo: Interface_Modelo_Portuario.xlsm

A.3 Resumo da *interface*

Nessa seção, serão apresentadas e explicadas de forma resumida a *interface* de trabalho da entrada e tratamento de dados.

A.3.1 *Interface*

Os dados referentes às características do cenário a ser estudado são preenchidos na *interface* desenvolvida.

A *interface* possui 16 abas, sendo as abas de 2~9 responsáveis pela definição das características do cenário a ser simulado e as demais para apresentação, resultados e estatísticas. Elas são apresentadas abaixo juntamente com uma ilustração dela na *interface*:

1) Menu

Aba inicial da *interface* para o terminal, com as opções de acesso às demais abas no painel localizado à esquerda sendo ela ilustrada pela Figura 21.

Figura 21 - *Interface* (Menu)



Fonte: Autor

2) Entrada de dados

Aba responsável por conter alguns dados gerais do cenário, como o período de simulação, que no caso sempre será considerado como um ano. Dados dos intervalos de *dwt* das

diferentes classes de navios, além da informação da quantidade de navios, trens e caminhões gerados para o cenário. O *layout* dessa aba é ilustrado pela Figura 22.

Figura 22 - Interface (Entrada de dados)

Subsistema	Índice	Descrição	Parâmetro	Tipo de variável	Observações	Variáveis ANYLOGIC
	1.01	Duração da simulação (anos)	1	Integer		P1
	1.02	Quantidade de navios	187	Integer	Campo preenchido automaticamente ao gerar a frota	V_Dht_Navios_Lista
	1.03	Quantidade de Trens	9560	Integer	Campo preenchido automaticamente ao gerar a frota	P5
	1.04	Quantidade de Caminhões	61567	Integer	Campo preenchido automaticamente ao gerar a frota	V_Dht_Caminhoes_Lista
	1.05	DWT das Barcaças	9000	Integer		V_DWT_Navios[0]
	1.06	DWT do HandySize B 175m Loa	40000	Integer		V_DWT_Navios[1]
	1.07	DWT do HandyMax x 200 m	50000	Integer		V_DWT_Navios[2]
	1.08	DWT do Panama de 201 e 294 m	80000	Integer		V_DWT_Navios[3]
	1.09	DWT do Cape 2200s	174800	Integer		V_DWT_Navios[4]
	1.10	DWT do Large Cape	198152	Integer		V_DWT_Navios[5]
	1.11	DWT do VLCC	250000	Integer		V_DWT_Navios[6]
	1.12	DWT do Valemax	400000	Integer		V_DWT_Navios[7]
						P13
						P14

Fonte: Autor

3) Cais

Na Figura 23, temos ilustrada a aba que contém os dados relacionado ao cais. Informações de (1) Tempos de atracação; (2) Tempos de pré-operação; (3) Tempos de operação/Produtividade; (4) Tempos de pós-operação; (5) Configuração de cais sobre preferência de cais por produto; (6) Restrições de atracação entre berço e classe de navio; (7) Prioridade de atracação entre produtos; (8) Dados de maré; (9) Dados de chuva.

Figura 23 - Interface (Cais)

V_Temp, Atracação[0]	Tipo ID-constante / T-distribuição	Parâmetro 0 se B	Parâmetro 1 se B	Parâmetro 2 se B	Parâmetro 3 se B	Unidade	Variáveis ANYLOGIC	Observações
0,00	1	1,0	94,0	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Atracação[0]	
0,00	1	1,0	94,0	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Atracação[1]	
0,00	1	1,0	94,0	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Atracação[2]	
0,00	1	1,0	94,0	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Atracação[3]	
0,00	1	1,0	94,0	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Atracação[4]	
0,00	1	1,0	94,0	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Atracação[5]	
0,00	1	1,0	94,0	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Atracação[6]	
0,00	1	1,0	94,0	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Atracação[7]	

V_Temp, Pré-Operação[0]	Tipo ID-constante / T-distribuição	Parâmetro 0 se B	Parâmetro 1 se B	Parâmetro 2 se B	Parâmetro 3 se B	Unidade	Variáveis ANYLOGIC	Observações
0,00	1	1,0	94,2	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Pré-Operação[0]	
0,00	1	1,0	94,2	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Pré-Operação[1]	
0,00	1	1,0	94,2	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Pré-Operação[2]	
0,00	1	1,0	94,2	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Pré-Operação[3]	
0,00	1	1,0	94,2	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Pré-Operação[4]	
0,00	1	1,0	94,2	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Pré-Operação[5]	
0,00	1	1,0	94,2	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Pré-Operação[6]	
0,00	1	1,0	94,2	350,0	234,8	Minutos	V_Tempo_Pré-Operação[7]	

V_Temp, Operação[0]	Probabilidade Nominal	Tipo ID-constante / T-distribuição	Probabilidade efetiva / Tempo de Operação Parâmetro B se B	Parâmetro 1 se B	Parâmetro 2 se B	Parâmetro 3 se B	Unidade	Variáveis ANYLOGIC	Observações
0,00									

Fonte: Autor

4) Demanda

Para as informações referentes às demandas de cada produto, existe a aba de demanda que é destinada aos produtos que não possuem característica de sazonalidade, sendo então voltada para os produtos siderúrgicos e celulose. Na Figura 24, é apresentado a aba na qual são

preenchidas as informações de quantidades (toneladas) de cada produto no ano e a distribuição percentual de classe de navios que atenderão à essa demanda.

Figura 24 - Interface (Demanda)

Fonte: Autor

5) Demanda Sazonal

No caso dos produtos que sofrem a influência da sazonalidade, os dados de demanda para o cenário e as distribuições percentuais das classes de navios que atenderão à demanda são preenchidos na aba de demanda sazonal, conforme Figura 25. A diferença dessa aba em relação à aba de demanda não sazonal, se deve ao fato de a demanda é distribuída mês a mês.

Figura 25 - Interface (Demanda Sazonal)

Fonte: Autor

6) Sazonalidade

Para as demandas sazonais, podemos distribuir a demanda anual ao longo dos meses segundo uma porcentagem em cada um deles. Com esse intuito que existe a aba de sazonalidade, onde definimos a distribuição da demanda anual segundo um valor percentual em cada mês para cada produto, conforme Figura 26.

Figura 26 - Interface (Sazonalidade)

PRODUTOS	MESES	ALTERNATIVAS DE SAZONALIDADE				ALTERNATIVA ESCOLHIDA
		1	2	3	4	SAZONALIDADE 1
SOJA	JAN	0.00%	0.00%			0.00%
	FEB	5.00%	5.00%			5.00%
	MAR	10.00%	10.00%			10.00%
	ABR	15.00%	15.00%			15.00%
	MAI	17.50%	17.50%			17.50%
	JUN	17.50%	17.50%			17.50%
	JUL	15.00%	15.00%			15.00%
	AGO	10.00%	10.00%			10.00%
	SET	5.00%	5.00%			5.00%
	OUT	5.00%	5.00%			5.00%
	NOV	0.00%	0.00%			0.00%
	DEZ	0.00%	0.00%			0.00%
MILHO	JAN	0.00%	0.00%			0.00%
	FEB	0.00%	0.00%			0.00%
	MAR	0.00%	0.00%			0.00%
	ABR	0.00%	0.00%			0.00%
	MAI	0.00%	0.00%			0.00%
	JUN	0.00%	0.00%			0.00%
	JUL	0.00%	0.00%			0.00%
	AGO	10.00%	10.00%			10.00%
	SET	20.00%	20.00%			20.00%
	OUT	25.00%	25.00%			25.00%

Fonte: Autor

7) Caminhões

Na Figura 27, temos ilustrada a aba responsável pelos dados relacionados aos caminhões. Nela temos informações de (1) Tempos de atendimento nas portarias e balanças; (2) Tempos de percurso entre os diversos pontos do terminal como tombadores e balança de saída; (3) Tempos de operação/produzitividade dos tombadores e dos berços para os produtos siderúrgicos, celulose e fertilizantes; (4) Porcentagem da demanda total que será atendida por caminhões, assim como sua capacidade e com que antecedência mínima e máxima em relação ao navio chegarão no terminal; (5) Quantidade de portarias, balanças, tombadores e tamanhos de fila suportados dentro do terminal; e (6) Capacidade física entre pontos no terminal para caminhões.

Figura 27 - Interface (Caminhões)

Tipo (Constante / Variável)	Parâmetro 0	Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3	Unidade	Variáveis ANTILOG	Parâmetros ANTILOG	Observações
Atendimento na portaria de entrada	1	100	0.7	1.3	100	Mínimo	{V_Atendimento_Portaria_Entrada}	100
Atendimento na portaria de saída	1	100	0.7	1.3	100	Mínimo	{V_Atendimento_Portaria_Saida}	100
Atendimento na balança de entrada	1	100	0.7	1.3	100	Mínimo	{V_Atendimento_Balanca_Entrada}	100
Atendimento na balança de saída	1	100	0.7	1.3	100	Mínimo	{V_Atendimento_Balanca_Saida}	100

V_Tempo_Percurso{E}	Tipo (Constante / Variável)	Parâmetro 0	Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3	Unidade	Variáveis ANTILOG	Parâmetros ANTILOG	Observações
Tempo de percurso entre Balança de entrada e Berço 100 (incluindo tempo de atendimento)	1	100	0.0	1.6	120	Mínimo	{V_Tempo_Percurso{E}}		45.00
Tempo de percurso entre Balança de entrada e Berço 101 (incluindo tempo de atendimento)	1	100	1.3	2.3	180	Mínimo	{V_Tempo_Percurso{E}}		56.00
Tempo de percurso entre Balança de entrada e Berço 102 (incluindo tempo de atendimento)	1	100	1.8	3.3	250	Mínimo	{V_Tempo_Percurso{E}}		100.00
Tempo de percurso entre saída de Berço 100 e Balança de saída	1	100	2.1	3.9	300	Mínimo	{V_Tempo_Percurso{E}}		100
Tempo de percurso entre saída de Berço 101 e Balança de saída	1	100	1.0	3.3	250	Mínimo	{V_Tempo_Percurso{E}}		75.00
Tempo de percurso entre saída de Berço 102 e Balança de saída	1	100	1.1	2.0	150	Mínimo	{V_Tempo_Percurso{E}}		150
Tempo de percurso da Balança até o tombador para grande	1	100	0.7	1.3	100	Mínimo	{V_Tempo_Percurso{E}}		100
Tempo de percurso de tombador para a Balança de saída para grande	1	100	0.4	0.7	0.50	Mínimo	{V_Tempo_Percurso{E}}		0.50
Tempo de percurso de fila entre o Ponto de entrada	1	100	0.7	1.3	100	Mínimo	{V_Tempo_Percurso{E}}		100
Tempo de percurso da Balança de saída do Ponto de saída	1	100	0.4	0.7	0.50	Mínimo	{V_Tempo_Percurso{E}}		0.50
Tempo de percurso do Ponto de saída até Berço	1	100	0.7	1.3	100	Mínimo	{V_Tempo_Percurso{E}}		100

Fonte: Autor

8) Trens

As informações dos comboios ferroviários são preenchidas na aba Trens, ilustrada pela Figura 28. Nela contém dados de (1) Tempos de manobra; (2) Bloqueio da portaria de

entrada devido à travessia eventual de trens; (3) Porcentagem da demanda total de cada produto será atendida pelo modal ferroviário, no caso é exclusivo para o farelo, assim como dados de capacidade, quantidade de vagões, chegada com que antecedência mínima e máxima em relação ao navio correspondente; (4) Dados sobre quantidade de linhas que o comboio será desmembrado e quantos vagões vão para cada linha, se sofre ou não interferência devido à chuva, além da quantidade de moegas.

Figura 28 - Interface (Trens)

The screenshot shows a software interface with a sidebar menu on the left and a main data entry area. The title is 'ENTRADA DE DADOS: TRENS'. The interface is divided into four sections: A) Tempos de Manobra, B) Dados dos trens que atravessam a portaria, C) Dados dos Trens, and D) Dados da Ferrovia. Each section contains a table with columns for parameters, units, and observations.

Fonte: Autor

9) Armazenagem

A Figura 29 ilustra os dados referentes à armazenagem, como a (1) quantidade de silos/armazéns, bem como (2) a compatibilidade deles com quais produtos, (3) capacidade e (4) estoque inicial.

Figura 29 - Interface (Armazenagem)

The screenshot shows a software interface with a sidebar menu on the left and a main data entry area. The title is 'ENTRADA DE DADOS: SILOS E ARMAZENAGEM'. The main area contains a table titled 'A) Compatibilidade, Status Inicial, Produto Alocado, Capacidade Máxima' with columns for silo ID, name, status, compatibility with products, status of loading/unloading, product allocation, maximum capacity, and initial stock.

Fonte: Autor

10) Resultados Brutos

A importação dos *outputs* é realizada através de um botão presente na aba de resultados brutos, na qual temos a informação visual se existem ou não dados importados nas abas

referentes aos logs de navios, caminhões, trens e de resultados. A Figura 30 ilustra o *layout* dessa aba.

Figura 30 - Interface (Resultados Brutos)



Fonte: Autor

11) Resultados Cenários

Para a análise de resultados do cenário simulado, existe a aba de resultados cenários, na qual existe o compilado de indicadores. A Figura 31 apresenta a aba com alguns resultados de cenários testados.

Figura 31 - Interface (Resultados Cenários)

KPI	Definido	UNIDADE	CENÁRIO Abstr	2023_4D_3T_35_2000_10min	2023_4D_2T_35_2000_10min	2023_4D_2T_35_2000_8min	2023
Tempo_Aguard_Carga (Média) Navios de Grãos	x	horas	505,51	30,26	55,08		39,94
Tempo_em_FilaportBerco (Média) Navio Geral	x	horas	11,04	5,96	6,73		7,43
Tempo_em_FilaMareCanal (Média) Navio Geral	x	horas	0,00	0,00	0,00		0,00
TempoAtraca (Média) Navio Geral	2,00	horas	1,99	1,99	2,03		2,00
Tempo_em_PreOperacao (Média) Navio Geral	5,10	horas	4,85	5,02	4,95		4,94
Tempo_em_Operacao (Média) Navio Geral	x	horas	46,55	48,71	48,87		49,43
Tempo_PosOperacao (Média) Navio Geral	x	horas	4,51	5,31	5,38		5,42
Tempo_em_FilaMareCanal (Média) Navio Geral	x	horas	1,36	0,68	0,50		0,45
GerarTempo Desatraca/Sai (Média) Navio Geral	2,00	horas	2,00	2,01	2,00		2,01
Tempo Excedente na Operação (Média) Navio Geral	x	horas	152,35	9,80	12,55		10,26
Tempo em Fila Entrada Terminal (Média) Caminhão	x	minutos	2,516,99	680,23	1,081,29		790,00
Tempo Deslocamento Avenida Portaria (Média) Caminhão	1,00	minutos	1,00	1,00	1,00		1,00
Tempo em Fila Entrada Portaria (Média) Caminhão	x	minutos	0,02	0,01	0,01		0,01
Tempo na Portaria Entrada (Média) Caminhão	1,00	minutos	1,00	1,00	1,00		1,00
Tempo Deslocamento Portaria Balanca (Média) Caminhão	1,00	minutos	1,00	1,00	1,00		1,00
Tempo em Fila Entrada Balanca (Média) Caminhão	x	minutos	0,00	0,00	0,00		0,00
Tempo na Balanca (Média) Caminhão	1,00	minutos	1,00	1,00	1,00		1,00

Fonte: Autor

12) Log_navios

Iniciando a apresentação das abas que recebem os *outputs* do modelo, na Figura 32 temos o resultado da importação do *log_navios.csv* para os cálculos estatísticos relacionados ao modal marítimo. Nela temos todos os dados de cada navio que passou no sistema como: (1) Instante de chegada no terminal; (2) Identificação; (3) *dwt*; (4) Dia de chegada programada; (5) Tipo de produto transportado; (6) Quantidade de carga carregada; (7) Berço alocado; (8) Silos/Armazéns alocados; (9) Instantes de recuperação de cada silo/armazém; (10) Instantes em que o mesmo chegou, atracou, foi liberado pela maré de entrada, iniciou atracação, pré-operação, operação, pós-operação, liberado pela maré de saída, iniciou desatracação e saiu do terminal. Além disso são realizados cálculos para a verificação dos tempos em filas, de operações etc.

Figura 32 - Interface (*log_navios*)

Tempo médio de descarregamento de Silo (min)																									
2384.23																									
827.83																									
Instante de Recuperação nos Silos																									
9	Instante	Id navio	Id cliente	DWT	Dia chegada	Tipo produto	Quantidade	Berço Alocado	Sequencia de alocação de silos				Primeiro Silo Alocado		Segundo Silo Alocado		Terceiro Silo Alocado		Quarto Silo Alocado		Chegada	InstanteCausaTotal	InstanteSoc		
									Primeiro Silo	Segundo Silo	Terceiro Silo	Quarto Silo	Inicio	Fim	Inicio	Fim	Inicio	Fim	Inicio	Fim					
10	12,428	1	1	36547	5.93	5	36547	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8568	8568	
11	16,943	2	1	22387	9.4	5	22387	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13056	13056	
12	19,289	3	1	22896	10.54	7	22896	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15177.6	15177.6	
13	20,092	4	1	35119	11.15	5	35119	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16056	16056	
14	20,880	5	1	33869	11.9	5	33869	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17136	17136	
15	21,607	6	1	29073	12.56	5	29073	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18096.4	18096.4	
16	24,024	7	1	26498	12.69	5	26498	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18271.6	18271.6	
17	26,905	8	1	25327	14.3	5	25327	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20592	20592	
18	28,429	9	1	34679	15.86	5	34679	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22982.4	22982.4	
19	32,320	10	1	40001	16.25	7	40001	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23400	23400	
20	32,393	11	1	34709	19.96	5	34709	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28742.4	28742.4	
21	34,812	12	1	24783	19.99	5	24783	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28785.6	28785.6	
22	35,300	13	1	25197	22.87	5	25197	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32932.8	32932.8	
23	38,948	14	1	26539	25.5	7	26539	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33840	33840	
24	44,552	15	1	28333	28.24	5	28333	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40665.6	40665.6	
25	57,312	17	1	30554	37.38	5	30554	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52627.2	52627.2	
26	57,681	16	1	20000	36.94	7	20000	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53193.6	53193.6	

Fonte: Autor

13) Log_caminhoes

De forma muito similar, a Figura 33 apresenta a aba de *log_caminhoes*. Nela são importados os resultados do *log_caminhoes.csv* contendo: (1) Instante de saída do terminal; (2) Identificação; (3) Tipo de produto transportado; (4) Quantidade de carga; (5) Berço ao qual destinou-se no caso de siderúrgicos, celulose e fertilizantes; (6) Instantes de chegada no terminal, saída da fila externa, chegada na portaria, início e término de atendimento na portaria, chegada na balança de entrada, início e término do atendimento na balança de entrada, chegada no tombador, início e término de operação no tombador, chegada na balança de saída, início e término do atendimento na balança de saída, chegada na portaria de saída, início e término do atendimento na portaria de saída e saída para avenida. Também são realizados cálculos sobre tempos em filas, de operações, movimentação etc.

Figura 35 - Interface (log_resultados)

	A	B	C
1		44	
2	Voltar		
3			
10	Navios de grãos esperando carga no final da simulação	3	
11	Navios em fila no final da simulação	3	
12	Caminhões esperando definição dos silos no final da simulação	0	
13	Caminhões em fila Fora Terminal no final da simulação	164	
14	Caminhões Saindo da Fila Externa Ate Portaria no final da simulação	0	
15	Caminhões em Fila na portaria de entrada no final da simulação	0	
16	Caminhões Saindo da portaria de entrada até Balança no final da simulação	1	
17	Caminhões em Fila para entrada de balança no final da simulação	0	
18	Caminhões sendo atendidos nas balanças de entrada no final da simulação	0	
19	Caminhões não granéis Retornando da Balança de entrada no final da simulação	0	
20	Caminhões Saindo Balança de entrada até Tombador no final da simulação	0	
21	Caminhões em Fila para alocar Tombador no final da simulação	0	
22	Caminhões sendo atendidos no Tombador no final da simulação	0	
23	Caminhões Granéis Saindo do Tombador até Balança no final da simulação	1	
24	Caminhões em Fila para balança de saída no final da simulação	0	
25	Caminhões sendo atendidos na Balança de Saída no final da simulação	0	
26	Caminhões Saindo Balança até Portaria Saída no final da simulação	0	
27	Caminhões em Fila na portaria de Saída no final da simulação	0	
28	Caminhões na portaria de saída sendo atendidos no final da simulação	0	
29	Caminhões em Fila esperando para ir à Avenida no final da simulação	0	
30	Caminhões Saindo para a Avenida no final da simulação	0	
31	Ocupação Berço 1	0.1565387	
32	Ocupação Berço 2	0.5366854	
33	Ocupação Berço 3	0.5209907	
34	Ocupação Berço 4	0	
35	Ocupação das Portaria_Entrada	0.1572331	
36	Ocupação das Balança_Entrada	0.1571418	
37	Ocupação dos Tombadores	0.6497052	
38	Ocupação das Balança_Saída	0.3927125	
39	Ocupação da Portaria de Saída	0.096582	
40	Giros no Silo 1	21	
41	Giros no Silo 2	21	
42	Giros no Silo 3	15	
43	Giros no Silo 4	15	
44	Giros no Silo 5	14	
45	Giros no Silo 6	0	
46	Giros no Silo 7	0	
47	Giros no Silo 8	0	
48	Giros no Silo 9	0	
49	Giros no Silo 10	0	
50	Fila média de navios		
51	Ocupação Moegas	0.3510742	
52	Vagões esperando em fila fora do TESC no final da simulação	1278	
53	Carga de n navios esperando para procurar silos no final da simulação	2	

Fonte: Autor

16) Resultados

Por fim, a Figura 36 apresenta a aba responsável pelas estatísticas do cenário. Informações sobre demanda total, demanda prevista e movimentada por produto, dados sobre os navios

gerados e tempos em fila para atracar. Além de resultados sobre os píeres como os tempos médios de atracação e desatracação, ocupações médias dos berços e demanda atendida em cada uma. Estatísticas das armazenagens como a quantidade de giros em cada silo/armazém, assim como dados dos caminhões referentes à quantidade atendida por produto, ocupações médias das portarias, balanças e tombadores, bem como os tempos médios em fila em cada trecho.

Figura 36 - Interface (Resultados)

A) DEMANDAS	
Demanda (t) total prevista no embarque	6,632,000.00
Demanda (t) total embarcada nos navios	6,598,768.00
Demanda (t) total prevista de movimentação de soja	1,398,415.78
Demanda (t) total prevista de movimentação de milho	504,584.22
Demanda (t) total prevista de movimentação de farelo	868,000.00
Demanda (t) total prevista de movimentação de vergalhão (siderúrgico)	176,000.00
Demanda (t) total prevista de movimentação de bobina (siderúrgico)	2,999,000.00
Demanda (t) total prevista de movimentação de celulose	384,000.00
Demanda (t) total prevista de movimentação de Fertilizante (t)	700,000.00
Demanda (t) total prevista de movimentação de Fertilizante (terceiros)	-
Demanda (t) total prevista de movimentação do produto 9	-
Demanda (t) total prevista de movimentação do produto 10	-
Demanda (t) total prevista de movimentação do produto 11	-
Demanda (t) total prevista de movimentação do produto 12	-
Demanda (t) total prevista de movimentação do produto 13	-
Demanda (t) total prevista de movimentação do produto 14	-
Demanda (t) total prevista de movimentação do produto 15	-
Demanda (t) total prevista de movimentação do produto 16	-
Demanda (t) total prevista de movimentação do produto 17	-
Demanda (t) total prevista de movimentação do produto 18	-
Demanda (t) total prevista de movimentação do produto 19	-

Fonte: Autor

A.3.2 Fluxo de dados

Os dados do cenário a ser simulado são exportados através do Excel por meio de VBA em arquivos de extensão CSV (*Comma-Separated-Values*). A formatação desse arquivo para edição e visualização não é prática, por isso esses dados são preenchidos em células na *interface* e só então exportadas com a formatação CSV. A seguir serão descritos os arquivos gerados e ilustrados por figuras:

- Dados.csv

Informações sobre as características do cenário (ex: produtividade dos equipamentos, tempos de deslocamento, dados de marés, chuvas interferências etc.). Esse arquivo é ilustrado pela Figura 37.

Figura 37 - Dados.csv

```

Dados.csv x
1 1,1,84,156,120,Minutos,V_Tempo_Atracacao[i][j],,,,
2 1,1,84,156,120,Minutos,V_Tempo_Atracacao[i][j],,,,
3 1,1,84,156,120,Minutos,V_Tempo_Atracacao[i][j],,,,
4 1,1,84,156,120,Minutos,V_Tempo_Atracacao[i][j],,,,
5 1,1,84,156,120,Minutos,V_Tempo_Atracacao[i][j],,,,
6 1,1,84,156,120,Minutos,V_Tempo_Atracacao[i][j],,,,
7 1,1,84,156,120,Minutos,V_Tempo_Atracacao[i][j],,,,
8 1,1,164.22,304.98,234.6,Minutos,V_Tempo_Pre_Operacao[i][j],,,,
9 1,1,164.22,304.98,234.6,Minutos,V_Tempo_Pre_Operacao[i][j],,,,
10 1,1,164.22,304.98,234.6,Minutos,V_Tempo_Pre_Operacao[i][j],,,,
11 1,1,344.82,640.38,492.6,Minutos,V_Tempo_Pre_Operacao[i][j],,,,
12 1,1,210,390,300,Minutos,V_Tempo_Pre_Operacao[i][j],,,,
13 1,1,286.86,532.74,409.8,Minutos,V_Tempo_Pre_Operacao[i][j],,,,
14 1,1,164.22,304.98,234.6,Minutos,V_Tempo_Pre_Operacao[i][j],,,,
15 1,1,1232,2288,1760,tph,V_Tempo_Operacao[i][j],,,,
16 1,1,1232,2288,1760,tph,V_Tempo_Operacao[i][j],,,,
17 1,1,1232,2288,1760,tph,V_Tempo_Operacao[i][j],,,,
18 1,1,38.241,71.019,54.63,Horas,V_Tempo_Operacao[i][j],,,,
19 1,1,33.012,61.308,47.16,Horas,V_Tempo_Operacao[i][j],,,,
20 1,1,25.697,47.723,36.71,Horas,V_Tempo_Operacao[i][j],,,,

```

Fonte: Autor

- Navios.csv

Lista de navios que serão gerados ao longo da simulação com as informações de identificação, *dwt*, instante de chegada, tipo de produto. A Figura 38 ilustra a formatação do arquivo.

Figura 38 - Navios.csv

```

Navios.csv x
1 1,1,36547,5.95,5,36547,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,Navios Gerados,186
2 2,1,22387,9.4,5,22387,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,Navios Gerados,183
3 3,1,22696,10.54,7,22696,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
4 4,1,35113,11.15,5,35113,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
5 5,1,33869,11.9,5,33869,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
6 6,1,29073,12.56,5,29073,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
7 7,1,26498,12.69,5,26498,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
8 8,1,25327,14.3,5,25327,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
9 9,1,34679,15.96,5,34679,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
10 10,1,40001,16.25,7,40001,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
11 11,1,34709,19.96,5,34709,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
12 12,1,24783,19.99,5,24783,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
13 13,1,25197,22.87,5,25197,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
14 14,1,26559,23.5,7,26559,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
15 15,1,28333,28.24,5,28333,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
16 16,1,20000,36.94,7,20000,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
17 17,1,30854,37.38,5,30854,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
18 18,1,26963,37.64,5,26963,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,,
19 19,1,50001,43.33,1,50001,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,,
20 20,1,50001,51.55,3,50001,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,2,,

```

Fonte: Autor

- log_resultados.csv

Nesse arquivo estão presentes resultados gerais do cenário, como a quantidade de navios aguardando carga ao final da simulação, quantidade de caminhões esperando fora do terminal e em diversos pontos do terminal, ocupações de berços e demais recursos assim como o número de giros dos silos/armazéns. Esse arquivo é ilustrado pela Figura 44.

Figura 44 - log_resultados.csv

```

1 Navios de grãos esperando carga no final da simulação,3
2 Navios em fila no final da simulação,3
3 Caminhões esperando definição dos silos no final da simulação,0
4 Caminhões em fila Fora Terminal no final da simulação,164
5 Caminhões Saindo da Fila Externa Até Portaria no final da simulação,0
6 Caminhões em Fila na portaria de entrada no final da simulação,0,Caminhões na portaria de entrada sendo atendidos no final da simulação,0
7 Caminhões Saindo da portaria de entrada até Balança no final da simulação,1
8 Caminhões em Fila para entrada de balança no final da simulação,0
9 Caminhões sendo atendidos nas balanças de entrada no final da simulação,0
10 Caminhões não graneis Retornando da Balança de entrada no final da simulação,0
11 Caminhões Saindo Balança de entrada até Tombador no final da simulação,0
12 Caminhões em Fila para alocar Tombador no final da simulação,0
13 Caminhões sendo atendidos no Tombador no final da simulação,0
14 Caminhões Granéis Saindo doTombador até Balança no final da simulação,1
15 Caminhões em Fila para balança de saída no final da simulação,0
16 Caminhões sendo atendidos na Balança de Saída no final da simulação,0
17 Caminhões Saindo Balança até Portaria Saída no final da simulação,0
18 Caminhões em Fila na portaria de Saída no final da simulação,0
19 Caminhões na portaria de saída sendo atendidos no final da simulação,0
20 Caminhões em Fila esperando para ir à Avenida no final da simulação,0
21 Caminhões Saindo para a Avenida no final da simulação,0
22 Ocupação Berço 1,0.1565387205519456
23 Ocupação Berço 2,0.5366853873781329
24 Ocupação Berço 3,0.5209907058553256
25 Ocupação Berço 4,0.0
26 Ocupação das Portaria_Entrada,0.15723309456304482
27 Ocupação das Balanca_Entrada,0.15714177823600245
28 Ocupação dos Tombadores,0.6497052158470489
29 Ocupação das Balanca_Saida,0.3927125478961438
30 Ocupação da Portaria de Saída,0.09658197212029829
31 Giros no Silo 1,21.0
32 Giros no Silo 2,21.0
33 Giros no Silo 3,15.0
34 Giros no Silo 4,15.0
35 Giros no Silo 5,14.0
36 Giros no Silo 6,0.0
37 Giros no Silo 7,0.0
38 Giros no Silo 8,0.0
39 Giros no Silo 9,0.0
40 Giros no Silo 10,0.0
41 Fila média de navios,
42 Ocupação Moegas,0.35107419650461663
43 Vações esperando em fila fora do TESC no final da simulação,1278
44 Carga de n navios esperando para procurar silos no final da simulação,2

```

Fonte: Autor

A.3.3 Níveis de Acesso do Usuário

A *interface* não possui qualquer sistema de segurança para acesso e/ou modificação dos dados nele contidos, ou seja, qualquer usuário que tenha acesso a *interface* terá permissão para tal.

Lista de Referências

- Aguerrevere, F. (2003). Equilibrium investment strategies and output price behavior: A real-options approach. *The Review of Financial Studies*, 1239-1272.
- Alderton, P. (2008). Port management and operations. Em *Production Planning & Control* (pp. 721-742). London: Informa.
- Altiok, T., & Melamed, B. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with ARENA*. Elsevier.
- Anylogic. (2021). Fonte: Anylogic: <https://www.anylogic.com/features/> [Acesso: 2021, 18 Agosto]
- Appa. (2016). *Dicionário básico portuário 3ed*. Paraná.
- Arnold, J., Chapman, S., Gatewood, A., & Clive, L. (2016). *Introduction to Materials Management*. Pearson.
- Arruda, C. (2008). *Proposição de metodologia para estudos de capacidade de portos*. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Ceará.
- Azevedo, A., & Paxson, D. (2014). Developing real option game models. *European Journal of Operational Research*, 909-920.
- Bahtiyar, M. (2005). Simulation modeling of shop floor activities for smes in virtual enterprises. *Dissertação de Mestrado*. Middle East Technical University.
- Balliauw, M., Meersman, H., Van de Voorde, E., & Vanelslender, T. (2018). Towards improved port capacity investment decisions under uncertainty: a real options approach. *Transport Reviews*, 531-552.
- Ballou, R. (2006). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos Logística Empresarial*. Bookman.
- Bandini, S., Manzoni, S., & Vizzari, G. (2009). Agent Based Modeling and Simulation: An Informatics Perspective. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*.
- Bandyopadhyay, S., & Bhattacharya, R. (2014). *Discrete and continuous simulation: theory and practice*. CRC Press.
- Banks, J. (1998). *Handbook of Simulation Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. John Wiley & Sons.

- Banks, J. (2000). Introduction to simulation. *Winter simulation conference proceedings*, pp. 9-16.
- Banks, J., Carson II, J., Nelson, B., & Nicol, D. (2005). *Discrete-event system simulation*. Pearson.
- Bar-Ilan, A., & Strange, W. (1996). Investment lags. *The American Economic Review*, 610-622.
- Bichou, K. (2009). *Port Operations, Planning and Logistics*. Informa Law.
- Blauwens, G., De Baere, P., & Van de Voorde, E. (2016). *Transport Economics*. De Boeck, Antwerp.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-Based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems. *Proceedings of the national academy of sciences*, 7280-7287.
- Borges, C., Paz, D., Cuzzuol, J., Simões, J., & Franzese, L. (2008). Capacity planning analysis for service steel products port. *XIV INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT*.
- Bot, P. (2012). *Determining the Required Storage Capacity of an Import Dry Bulk Terminal*. Dissertação de Mestrado. Mechanical, Maritime and Materials Engineering.
- Carbone, V., & Martino, M. (2003). The changing role of ports in supply-chain management: an empirical analysis. *Maritime Policy & Management*, 305-320.
- Carson, J. (2005). Introduction to modeling and simulation. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 8.
- Carvalho, D. (2003). *Metodologia de Análise do Desempenho da Usina de Concentração da Samarco Mineração S.A. Baseada em Simulação das Operações*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto.
- Cavalcante, A., Pinto Rosana da Cruz, Araújo, C., Vieira, M., Souza, M., & Ribeiro, R. (19 a 22 de Setembro de 2017). Análise da funcionalidade dos Pátios de Manobra e Terminais para a eficiência da dinâmica de Operações Ferroviárias. *CONEMB*.
- CEMA. (2002). *Belt conveyors for bulk materials*. USA: 5ed. Conveyor Equipment Manufacturers Association.
- Chang, Y.-T., Tongzon, J., Luo, M., & Lee, P.-W. (2012). Estimation of optimal handling capacity of a container port: an economic approach. *Transport Reviews*, 241-258.
- Choi, B., & Kang, D. (2013). *Modeling and Simulation of Discrete Event Systems*. John Wiley & Sons.

- Chung, C. (2003). *Simulation modeling handbook a practical approach*. CRC Press.
- CNT. (2015). Fonte: Repositório Digital do Transporte:
<https://repositorio.itl.org.br/jspui/handle/123456789/125> [Acesso: 2021, 08 Setembro]
- Da Cruz, A. (2003). Otimização de planejamento com restrições de precedência usando algoritmos genéticos e co-evolução cooperativa. *Dissertação de Mestrado*. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO - PUC-RIO.
- Daganzo, C. (1990). Productivity of Multipurpose Seaport Terminals. *Transportation Science*, 205-216.
- Dangl, T. (1999). Investment and capacity choice under uncertain demand. *European Journal of Operational Research*, 415-428.
- De Borger, B., Proost, S., & Van Deeder, K. (2008). Private Port Pricing and Public Investment in Port and Hinterland Capacity. *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 527-561.
- de Faria, C. (2012). A modelagem e simulação de um sistema ferroviário para determinação da capacidade.
- de Faria, C. (2012). *A modelagem e simulação de um sistema ferroviário para determinação da capacidade*. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais.
- De Neufville, R., & Scholtes, S. (2011). *Flexibility in Engineering Design*. MIT Press.
- de Oliveira Mota, D., & Botter, R. (2020). Ship traffic capacity model for the largest port in Latin America. *Marine Systems & Ocean Technology*, 45-56.
- Dekker, S. (2005). *Port investment: towards an integrated planning of port capacity*. Tese de doutorado. Technische Universiteit Delft.
- Dekker, S., & Verhaeghe, R. (2006). Concepts for integrated planning of port capacity- Application to Rotterdam expansion plans. *Promet-Traffic&Transportation*, 173-178.
- Dekker, S., Verhaeghe, R., & Sanders, F. (2004). Planning of port capacity in intermodal transport networks—the case of Rotterdam. *10th World Conference on Transport Research World Conference on Transport Research Society Istanbul Technical University*.
- Demirci, E. (2003). Simulation modelling and analysis of a port investment. *Simulation*, 94-105.

- Dias, M. (2010). *Administração de Materiais - Uma Abordagem Logística*. São Paulo: Atlas S.A.
- Dixit, R., Dixit, A., & Pindyck, R. (1994). *Investment under uncertainty*. Princeton: Princeton university press.
- Duran, E., & Martin, A. (2016). Vessel dimensions: A key factor to the design and location of dry bulk. *Journal of Maritime Research*, 41-46.
- Emrich, S., Suslov, S., & Judex, F. (2007). Fully Agent Based Modellings of Epidemic Spread Using AnyLogic. *Proc. eurosim*, 9-13.
- EMS Tech. (01 de Abril de 2014). Fonte: YouTube:
<https://www.youtube.com/watch?v=JHhwITxx4mE> [Acesso: 2021, 10 Setembro]
- Enriquez Agos, F. (1991). *Multi-Purpose Port Terminals Recommendations for planning and management*. UNCTAD.
- Fishman, G. (2001). *Discrete event simulation. Modeling, programming, and analysis*. New York: Springer-Verlag.
- Goldsman, D. (2007). Introduction to simulation. *Winter Simulation Conference*, 26-37.
- Hagspiel, V., Huisman, K., & Kort, P. (2016). Volume flexibility and capacity investment under demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 95-108.
- Hassan, S. (1993). Port activity simulation. *ACM SIGSIM Simulation Digest*, 17-36.
- Herder, P., de Joode, J., Ligtoet, A., Schenk, S., & Taneja, P. (2011). Buying real options – Valuing uncertainty in infrastructure planning. *Futures*, 961-969.
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2015). *Introduction to Operations Research*. New York: McGraw-Hill.
- Huberts, N., Huisman, K., Kort, P., & Lavrutich, M. (2015). Capacity choice in (strategic) real options models: A survey. *Dynamic Games and Applications*, 424-439.
- Huisman, K., & Kort, P. (2015). Strategic capacity investment under uncertainty. *The RAND Journal of Economics*, 376-408.
- Ingalls, R. (2002). Introduction to simulation. *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, 7-16.
- Janzé, G. (8 de Fevereiro de 2016). Fonte: Biomass Handling:
<https://www.advancedbiomass.com/2016/02/biomass-trucks-and-dumpers/>
[Acesso: 2021, 08 Setembro]

- Kelton, W., Sadowski, R., & Zupick, N. (2014). *Simulation with Arena*. New York: McGraw-Hill.
- Kozan, E. (1997). Comparison of analytical and simulation planning models of seaport container terminals. *Transportation planning and Technology*, pp. 235-248.
- Lagoudis, L., & Rice Jr, J. (2011). Revisiting port capacity: A practical method for investment and policy decisions. *ECONSHIP Proceedings*. Chios, Greece.
- Law, A. (2015). *Simulation Modeling and Analysis*. New York: McGraw-Hill.
- Lin, J. (2008). Exploring flexible strategies in engineering systems using screening models applications to offshore petroleum projects. *Tese de Doutorado. Massachusetts Institute of Technology*.
- Lin, J., Gao, B., & Zhang, C. (2014). Simulation-based investment planning for Humen Port. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 161-175.
- Lingteringen, H. (1999). *Ports and Terminals*. Notas de palestra, TU Delft, Department Hydraulic Engineering.
- Macal, C., & North, M. (2011). Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation. *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference*, 1451-1464.
- Marad. (2008). *Glossary of shipping terms*. Washington: U.S. Department of Transportation.
- Meersman, H., & Van de Voorde, E. (2014). Predicting the future: How to estimate future demand for port throughput and infrastructure use. *Port infrastructure finance*, 33-54.
- Meritxell, B. (2018). *Investigation and optimization of a dry bulk terminal capacity using queuing theory. Application at the cement terminal in Barcelona Port*. Tese de Mestrado. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.
- Merlo, M. (2008). O transporte ferroviário brasileiro com destaque para o estado de Santa Catarina. *Monografia. UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ*.
- Novaes, A. (2007). *Logística e Gerenciamento Da Cadeia De Distribuição*. Elsevier.
- Novaes, A., Scholz-Reiter, B., Silva, V., & Rosa, H. (2012). Long-term planning of a container terminal under demand uncertainty and economies of scale. *Pesquisa Operacional* 32, 55-86.
- Ojha, S. (2015). *Coal handling system-its performance monitoring & suggestive measures for improvements*. Tese de Mestrado. NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ROURKELA.

- Olba, X., Daamen, W., Vellinga, T., & Hoogendoorn, S. (2015). Simulating the port wet infrastructure: review and assessment. *Transportation Research Procedia*, vol. 10, pp. 683-693.
- Özgülven, E. (2012). Quay length optimization using a stochastic knapsack model. *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, 424-435.
- Ramani, K. (1996). An Interactive Simulation Model for the Logistics Planning of Container Operations in Seaports. *Simulation*, 291-300.
- Roh, H.-S., S Lalwani, C., & Naim, M. (2007). Modelling a port logistics process using the structured analysis and design technique. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 283-302.
- Sanchez, P. (2007). Fundamentals of simulation modeling. *Winter Simulation Conference*, pp. 54-62.
- Seila, A. (1995). Introduction to simulation. *Winter Simulation Conference Proceedings*, pp. 7-15.
- Shannon, R. (1998). Introduction to the art and science of simulation. *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, 7-14.
- Sheikh, A. A. (1987). A microcomputer-based simulation study of a port. *Journal of the Operational Research Society*, pp. 673-681.
- Sheikh, M. J. (2018). A review of agent-based modeling (ABM) concepts and some of its main applications in management science. *Iranian Journal of Management Studies*.
- Silva, A. L. (2011). Análise da capacidade operacional de um terminal portuário de importação de fertilizantes por meio da simulação. Simulação de uma linha de montagem de veículos: uma aplicação em veículos militares. *Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Transportes*.
- Stephens, K. (2007). *Glossary of Chartering & Shipping Terms*. Rickmers.
- Stopford, M. (2009). *Maritime Economics*. Routledge.
- Taha, H. (2017). *Operations Research An Introduction*. Pearson.
- Thoresen, C. (2003). *Port Designers Handbook Recommendations and Guidelines*. London, UK.
- TNPA. (2021). Fonte: transnetnationalportsauthority: <https://www.transnetnationalportsauthority.net/Port%20Tariffs/Documents/Tariff%20Application%20FY2021%2022-Final.pdf> [Acesso: 2021, 09 Agosto]

- Trigeorgis, L. (1996). *Real options: Managerial flexibility and strategy in resource allocation*. London: The MIT Press.
- Tsinker, G. (1997). *Handbook of Port and Harbor Engineering Geotechnical and Structural Aspects*. New York: Springer.
- UNCTAD. (1985). *Port Development - A handbook for planners in developing countries*. New York: United Nations Publications.
- UNCTAD. (2017). *Review of Maritime Transport 2017*. Fonte: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2017_en.pdf (acessado 20.07.2021)
- Van Vianen, T. (2015). *Simulation-integrated Design of Dry Bulk Terminals*. Tese de Doutorado. Delft University of Technology.
- Van Vianen, T., Ottjes, J., & Lodewijks, G. (2011). Dry Bulk Terminal Characteristics. *Bulk Solids India*, 1-10.
- Ventura, M. (2009). *Apontamentos da disciplina de Projecto de Navios I*. Fonte: Instituto Superior Técnico, Lisboa: <http://www.mar.ist.utl.pt/mventura/Projecto-Navios-I/PT/1.4.3-Navios%20Graneleiros.pdf> [Acesso: 2021, 09 Setembro]
- Vianna Jr, E. (2009). Modelo de gestão e automação dos portos brasileiros. *Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo*.
- Vieira, G. (2013). *Modelo de governança aplicado a cadeias logístico-portuárias*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Vilko, J., & Hallikas, J. (2012). Risk assessment in multimodal supply chains. *International Journal of Production Economics*, 586-595.
- Wan, Y., & Zhang, A. (2013). Urban Road Congestion and Seaport Competition. *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 55-70.
- Wibowo, R., Hidayatno, A., & Moeis, A. (2015). Simulating port expansion plans using agent based modelling. *International Journal of Technology*, 864-871.
- Wu, M. (2014). *Port Technology International [Eletronic]*. Fonte: https://www.porttechnology.org/technical-papers/dry_bulk_terminal_capacity_planning/ [Acesso: 2021, 08 Agosto]
- Xavier, O., Daamen, W., Vellinga, T., & Hoogendoorn, S. (2015). Simulating the Port Wet Infrastructure: Review and Assessment. *Transportation Research Procedia*, vol. 10, pp. 683-693.

- Xiao, F. e. (2013). Nautical traffic simulation with multi-agent system for safety. *16th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)* (pp. 1245-1252). The Hague: IEEE.
- Xiao, Y., Fu, X., & Zhang, A. (2013). Demand uncertainty and airport capacity choice. *Transportation Research Part B: Methodological*, 91-104.
- Xiao, Y., Ng, A., Yang, H., & Fu, X. (2012). An analysis of the dynamics of ownership, capacity investments and pricing structure of ports. *Transport Reviews*, 629-652.
- Zeigler, B., Muzy, A., & Kofman, E. (2019). *Theory of modeling and simulation: discrete event & iterative system computational foundations*. Academic Press.