

Universidade Federal Fluminense

KELLY CRISTINE FRANCO DE AZEVEDO

Otimização dos Tempos de Estadia no Porto
de Paranaguá: Uma Abordagem Integrada
Usando Ferramentas de Apoio à Decisão

VOLTA REDONDA

2025

KELLY CRISTINE FRANCO DE AZEVEDO

Otimização dos Tempos de Estadia no Porto de Paranaguá: Uma Abordagem Integrada Usando Ferramentas de Apoio à Decisão

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia. Área de Concentração: Otimização e Pesquisa Operacional.

Orientador:

Cecília Toledo Hernández

Coorientador:

Eliane da Silva Christo

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

VOLTA REDONDA

2025

Ficha catalográfica automática - SDC/BEM
Gerada com informações fornecidas pelo autor

A994o Azevedo, Kelly Cristine Franco de
Otimização dos Tempos de Estadia no Porto de Paranaguá:
Uma Abordagem Integrada Usando Ferramentas de Apoio à Decisão
/ Kelly Cristine Franco de Azevedo. - 2025.
118 f.: il.

Orientador: Cecília Toledo Hernández.
Coorientador: Eliane da Silva Christo.
Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,
Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta
Redonda, Volta Redonda, 2025.

1. Teoria das filas. 2. Simulação de eventos discretos. 3.
Apoio multicritério à decisão. 4. Produção intelectual. I.
Hernández, Cecília Toledo, orientadora. II. Christo, Eliane
da Silva, coorientadora. III. Universidade Federal Fluminense.
Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta
Redonda. IV. Título.

CDD - XXX

Otimização dos Tempos de Estadia no Porto de Paranaguá: Uma Abordagem Integrada Usando Ferramentas de Apoio à Decisão

Kelly Cristine Franco de Azevedo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia. Área de Concentração: Otimização e Pesquisa Operacional.

Aprovada por:

Documento assinado digitalmente
 **CECILIA TOLEDO HERNANDEZ**
Data: 18/02/2025 12:07:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Cecilia Toledo Hernández, D. Sc. / UFF

Documento assinado digitalmente
 **VANESSA DA SILVA GARCIA**
Data: 20/02/2025 19:25:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Vanessa da Silva Garcia, D.Sc. / UFF

Documento assinado digitalmente
 **MATEUS PEREIRA MARTIN**
Data: 18/02/2025 19:17:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Mateus Pereira Martin, D.Sc. / UFSCar

Volta Redonda, 18 de Fevereiro de 2025.

Para Deus e minha querida família.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder saúde, força e sabedoria para trilhar este caminho com perseverança e dedicação.

Ao meu noivo, minha mãe, meus irmãos e toda família, pela paciência, amor e apoio incondicional durante toda essa jornada. Vocês foram meu alicerce nos momentos mais difíceis e minha motivação constante.

Às minhas orientadoras, pela orientação e incentivo ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas de turma, Victor, Dafne, Henrique e Lara pelos conhecimentos compartilhados e pela troca de ideias que tanto enriqueceram meu aprendizado.

Aos amigos, por compreenderem minha ausência em diversos momentos e, ainda assim, estarem sempre ao meu lado com palavras de apoio e motivação.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Meu sincero muito obrigada!

Resumo

Este trabalho propõe a otimização dos tempos de permanência dos navios no Terminal Corredor de Fertilizantes do Porto de Paranaguá, integrando a Teoria das Filas, Simulação Computacional e a metodologia de Apoio Multicritério à Decisão (AMD). A Teoria das Filas foi empregada para modelar o sistema portuário, analisando detalhes como tempos de espera e permanência, enquanto a Simulação por Eventos Discretos permitiu representar a variabilidade real das operações com maior precisão. A comparação entre os dois métodos evidenciou que a abordagem teórica subestimou o tempo médio de esperança na fila (1,12 a 1,13 dias), enquanto a simulação apresentou um valor mais próximo da realidade, 8,87 dias (IC 95%: [6,76; 10,98]). Da mesma forma, o tempo médio no sistema estimado teoricamente foi 5,73 a 5,74 dias, enquanto a simulação apontada 13,38 dias (IC 95%: [11,26; 15,51]), descobriu ao valor real de 12,94 dias. Adicionalmente, foi desenvolvido um fator de ajuste para alinhar as estimativas teóricas aos resultados simulados, garantindo maior precisão na previsão dos tempos operacionais. O método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) foi utilizado para selecionar a melhor regra de fila, considerando múltiplos critérios relevantes ao contexto portuário. Os resultados indicaram que a regra *Earliest Due Date* (EDD) foi mais eficiente, diminuindo os tempos médios de espera e aumentando a utilização dos berços. A integração das abordagens analíticas, simulacionais e multicritérios baseadas em um modelo robusto, que contribuiu para a redução dos tempos médios de permanência dos navios, o aumento da rotatividade dos berços e a mitigação de custos operacionais, como previsões de sobrestadia. Este estudo oferece contribuições para a gestão portuária, alinhando-se às demandas de eficiência do setor e fornecendo uma base para futuras otimizações operacionais.

Abstract

This study proposes the optimization of ship turnaround times at the Fertilizer Corridor Terminal of the Port of Paranaguá by integrating Queueing Theory, Computer Simulation, and Multi-Criteria Decision Support methods. Queueing Theory was employed to model the port system, analyzing metrics such as waiting and turnaround times, while Discrete Event Simulation represented the real variability of operations with greater accuracy. The comparison between the two methods highlighted the limitations of theoretical approaches in capturing the complexity of port systems and demonstrated the effectiveness of simulation in forecasting scenarios and evaluating improvement strategies. Additionally, an adjustment factor was developed to align theoretical estimates with simulated data. Finally, the Analytic Hierarchy Process (AHP) method was used to select the best queueing rule, considering multiple criteria relevant to the port context. The results showed that the integration of analytical, simulation-based, and multi-criteria approaches resulted in a robust model that contributed to reducing average turnaround times, increasing berth turnover, and mitigating operational costs, such as demurrage penalties. This study provides contributions to port management, addressing the sector's efficiency demands.

Palavras-chave

1. Teoria das Filas
2. Simulação de eventos discretos
3. Formulação Matemática
4. Apoio multicritério à decisão
5. *Analytic Hierarchy Process* (AHP)
6. Regra de filas
7. Gestão portuária

Glossário

| | | |
|--------------|---|--|
| λ | : | Taxa média de chegadas |
| $E(X)$ | : | Média do intervalo entre as chegadas |
| μ | : | Taxa média de atendimentos |
| $E(S)$ | : | Média do tempo em serviço |
| ρ | : | Carga do sistema (taxa de utilização) |
| m | : | Número de servidores |
| W_s | : | Tempo médio do usuário no sistema |
| W_q | : | Tempo médio do usuário na fila |
| L_s | : | Número médio de usuários no sistema |
| L_q | : | Número médio de usuários na fila |
| IDAtracção | : | Código de identificação da atracção |
| IDCarga | : | Código de identificação da carga |
| CDmercadoria | : | Classificação por meio da Nomenclatura Comum do Mercosul |
| TEA_i | : | Tempo de espera para atracção do navio i |
| DA_i | : | Data e hora de atracção do navio i |
| DC_i | : | Data e hora de chegada do navio i . |
| $TEIO_i$ | : | Tempo de espera para início da operação do navio i |
| DIO_i | : | Data e hora de início da operação do navio i |
| TO_i | : | Tempo em operação do navio i |
| DTO_i | : | Data e hora de término da operação do navio i |

Requisições

Glossário

- TED_i : Tempo de desatracação do navio i ;
 DD_i : Data e hora de desatracação do navio i ;
 TE_i : Tempo de estadia do navio i
 IC_i : Intervalo entre as chegadas dos navios
LI : Limite inferior
LS : Limite superior

Lista de Figuras

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Curva <i>trade-off</i> entre capacidade do sistema e o tempo médio de espera . . . | 24 |
| 2.2 | <i>Trade off</i> custos por serviço e nível de serviço | 25 |
| 2.3 | Processo de chegada e atendimento | 25 |
| 2.4 | Relação entre os instantes de chegada dos usuário, início e término dos serviços | 28 |
| 3.1 | Fluxograma da etapas da metodologia do trabalho | 38 |
| 3.2 | Divisão do modelo de filas | 44 |
| 3.3 | Estrutura dos níveis de decisão | 53 |
| 4.1 | Estrutura dos níveis de decisão | 56 |
| 4.2 | Fluxograma do pré-processamento de dados | 57 |
| 4.3 | Verificação de <i>outliers</i> da variável Intervalo entre as chegadas - IC | 58 |
| 4.4 | Verificação de <i>outliers</i> da variável Tempo de atracação dos navios | 59 |
| 4.5 | Verificação de <i>outliers</i> da variável Tempo de estadia | 60 |
| 4.6 | Modelo conceitual utilizando a notação <i>Business Process Model and Notation</i> (BPMN) | 73 |
| 4.7 | Taxa de utilização da fila obtida através do <i>software ProModel</i> | 78 |
| 4.8 | Taxa de utilização do sistema obtida através do <i>software ProModel</i> | 79 |
| 4.9 | Taxa de utilização dos berços 208, 209 e 211 obtida através do <i>software ProModel</i> | 80 |
| 4.10 | Resultados do modelo multicritério implementado no <i>SuperDecision</i> | 86 |

Lista de Tabelas

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Descrição das medidas de desempenho de Teoria das Filas | 31 |
| 2.2 | Medidas de desempenho dos modelos: $M/M/1$, $M/E_k/1$, $M/D/1$ e $M/G/1$ | 31 |
| 4.1 | <i>Outliers</i> no intervalo entre chegadas dos navios | 58 |
| 4.2 | <i>Outliers</i> no tempo atracado dos navios | 59 |
| 4.3 | <i>Outliers</i> no tempo de estadia dos navios | 61 |
| 4.4 | Estatística descritiva das variáveis analisadas (em dias) | 62 |
| 4.5 | Estatísticas descritivas - Berço 208 | 62 |
| 4.6 | Estatísticas descritivas - Berço 209 | 63 |
| 4.7 | Estatísticas descritivas - Berço 211 | 63 |
| 4.8 | Distribuições probabilísticas da variável 'Intervalo entre as chegadas' | 64 |
| 4.9 | Testes de aderência - variável 'Intervalo entre as chegadas' | 65 |
| 4.10 | Distribuições probabilísticas - variável 'Tempo em atendimento' | 66 |
| 4.11 | Testes de aderência - variável Tempo em atendimento do Berço 208 | 67 |
| 4.12 | Testes de aderência - variável Tempo em atendimento do Berço 209 | 67 |
| 4.13 | Testes de aderência - variável Tempo em atendimento do Berço 211 | 67 |
| 4.14 | Principais métricas de teoria das filas - Global | 68 |
| 4.15 | Médias do intervalo entre as chegadas e do tempo atracado dos subsistemas | 69 |
| 4.16 | Principais métricas de teoria das filas para os subsistemas | 69 |
| 4.17 | Medidas de desempenho dos subsistemas | 70 |
| 4.18 | Medidas de desempenho global - $M/G/3$ | 71 |
| 4.19 | Valores para o cálculo do parâmetro k | 71 |
| 4.20 | Medidas de desempenho para diferentes cenários | 71 |

| | | |
|------|---|-----|
| 4.21 | Medidas de desempenho global - $M/E_k/3$ | 72 |
| 4.22 | Resultados das replicações da amostra piloto | 74 |
| 4.23 | Parâmetros dos tempos médios | 75 |
| 4.24 | Intervalos de confiança para as variáveis analisadas com 10 replicações . . . | 75 |
| 4.25 | Resultados das replicações da amostra piloto | 76 |
| 4.26 | Intervalos de confiança para as variáveis analisadas com 29 replicações . . . | 77 |
| 4.27 | Comparação entre os resultados teóricos e simulados (em dias) | 81 |
| 4.28 | Pesos Normalizados por Berço | 82 |
| 4.29 | Resultados teóricos comparados ao da simulação | 82 |
| 4.30 | Prioridade relativa de cada critério | 84 |
| 4.31 | Comparação entre critérios e regras de fila | 87 |
| A.1 | Dados das atracções dos navios no Porto de Paranaguá | 95 |
| B.1 | Dados das cargas dos navios atracados no Porto de Paranaguá | 103 |

Sumário

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 15 |
| 1.1 | Cenário de Aplicação | 16 |
| 1.2 | Problema de Pesquisa | 16 |
| 1.3 | Objetivos | 17 |
| 1.3.1 | Objetivo Geral | 17 |
| 1.3.2 | Objetivos Específicos | 17 |
| 1.4 | Justificativa | 18 |
| 1.5 | Estrutura do trabalho | 19 |
| 2 | Fundamentação Teórica | 20 |
| 2.1 | Setor Portuário brasileiro | 20 |
| 2.1.1 | ANTAQ | 20 |
| 2.1.2 | Elementos de um sistema portuário | 21 |
| 2.2 | Teoria das filas | 23 |
| 2.2.1 | Medidas de desempenho de um sistema de filas | 28 |
| 2.3 | Simulação | 32 |
| 2.3.1 | Modelo conceitual | 33 |
| 2.4 | Apoio Multicritério à Decisão | 34 |
| 2.4.1 | <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP) | 35 |
| 3 | Metodologia | 37 |
| 3.1 | Tipo de pesquisa | 37 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.2 | Método do trabalho | 37 |
| 3.2.1 | Coleta de dados | 38 |
| 3.2.2 | Cálculo das atividades dos navios | 39 |
| 3.2.3 | Filtragem | 41 |
| 3.2.4 | Pré-processamento de dados | 42 |
| 3.2.5 | Determinação da distribuição de probabilidade - Modelo de filas . . | 43 |
| 3.2.6 | Aplicação das métricas e medidas de desempenho de Teoria das filas | 44 |
| 3.3 | Simulação | 45 |
| 3.3.1 | Modelo conceitual | 45 |
| 3.3.2 | Simulação Computacional no <i>software Promodel</i> | 46 |
| 3.3.3 | Número de Replicações | 46 |
| 3.4 | Criação de um fator de ajuste para o modelo M/G/c de Teoria das filas . . | 47 |
| 3.4.1 | Normalização das Taxas de Serviço | 48 |
| 3.4.2 | Cálculo do Fator de Ajuste | 48 |
| 3.4.3 | Estimativa do Tempo Médio na Fila | 49 |
| 3.4.4 | Cálculo do Tempo Médio no Sistema | 49 |
| 3.5 | Definição da regra da fila com Apoio multicritério à decisão | 50 |
| 3.5.1 | Especificação do objetivo | 50 |
| 3.5.2 | Definição dos critérios | 50 |
| 3.5.3 | Definição das alternativas | 52 |
| 3.5.4 | Estrutura dos níveis de decisão | 53 |
| 3.5.5 | Comparação paritária (Escala Fundamental de Saaty) e obtenção dos pesos | 53 |
| 3.5.6 | Verificação da Consistência da Matriz de Comparação (CR) | 54 |
| 4 | Resultados e Discussão | 56 |
| 4.1 | Base e Pré-processamento de dados | 57 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.2 | Estatística Descritiva | 61 |
| 4.3 | Teoria das filas | 64 |
| 4.3.1 | Definição dos modelos de filas | 64 |
| 4.3.2 | Cálculos das métricas iniciais de Teoria das filas | 68 |
| 4.3.3 | Medidas de desempenho modelo M/G/3 | 70 |
| 4.3.4 | Medidas de desempenho modelo M/E _k /3 | 71 |
| 4.4 | Simulação | 73 |
| 4.5 | Comparação | 80 |
| 4.5.1 | Criação de um fator de ajuste para o modelo M/G/c de Teoria das filas | 82 |
| 4.6 | Definição da regra da fila com Apoio Multicritério à decisão | 83 |
| 5 | Conclusão | 89 |
| | Referências | 92 |
| | Apêndice A – Tabela de atracação no terminal 'Corredor de Fertilizantes' no ano de 2023 | 95 |
| | Apêndice B – Cargas dos Navios Atracados no Terminal 'Corredor de Fer- tilizantes' em 2023 | 103 |

Capítulo 1

Introdução

A competitividade de um país está diretamente relacionada à eficiência de sua infraestrutura de transporte em atender às demandas para a distribuição de produtos, o que é importante para o escoamento eficaz da produção e, conseqüentemente, para o desenvolvimento econômico [15]. Segundo [7], a logística é indispensável para a criação de valor, beneficiando clientes e fornecedores ao garantir que produtos e serviços estejam disponíveis no momento e local certos, se tornando cada vez mais essencial para o sucesso das empresas globalmente.

De acordo com [20], o Brasil é caracterizado pela sua extensa costa marítima, fazendo com que o transporte aquaviário tenha um papel estratégico de extrema relevância, sendo considerado um dos principais fatores para o desenvolvimento econômico de um país. A economia de escala que é proporcionada quando se utiliza esse tipo de modal, traz transformações significativas para a macroeconomia global, possibilitando alterações importantes nas relações comerciais entre os países [4].

Conforme [23], o Brasil é um dos cinco maiores países do mundo em termos de território, o que proporciona uma vasta área para o cultivo de diversas culturas, tornando-o um grande consumidor de fertilizante. O Porto de Paranaguá é a principal porta de entrada desse material no país, portanto é importante garantir um alto nível de serviço e previsibilidade nos processos devido à integração com as cadeias de suprimentos globais [9].

Com esses significativos avanços, torna-se importante que os portos sejam geridos de maneira eficiente, visando a otimização de todo o sistema. A eficiência, neste contexto, depende da análise do tempo total, que inclui tanto o período de espera para atracação quanto o período do navio atracado. Esse estudo é fundamental para melhorar a dinâmica

das operações portuárias e minimizar gargalos.

1.1 Cenário de Aplicação

O Porto de Paranaguá é um porto brasileiro situado no estado do Paraná, na cidade de Paranaguá, e integra o complexo portuário conhecido como Portos do Paraná, que também inclui o Porto de Antonina. O porto opera como uma empresa pública estadual, subordinada à Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística, em acordo de delegação com o Governo Federal e tem o *LandLord Port* como atual modelo de gestão portuária, onde o setor público é encarregado da infraestrutura, enquanto o setor privado cuida da superestrutura. Em outras palavras, atua como administradora do porto, fornecendo a estrutura essencial para as operações de movimentação de cargas. As principais atividades do porto atualmente são exportação e importação de grãos, fertilizantes, contêineres, líquidos, automóveis, madeira, papel, sal, açúcar, entre outros.

De acordo com [29], o Porto de Paranaguá é o principal ponto de entrada de fertilizantes no Brasil, sendo responsável por cerca de 30% do total que chega ao país. Esse porto é composto por 24 berços sendo 16 berços no cais comercial Paranaguá, quatro berços em dois píeres de líquidos e dois berços em um píer de fertilizantes. O presente trabalho se concentrará no Terminal conhecido como "Corredor de fertilizantes", que é composto pelos Berços 208, 209 e 211.

1.2 Problema de Pesquisa

O Terminal Corredor de Fertilizantes do Porto de Paranaguá enfrenta desafios operacionais relacionados à formação de filas e ao aumento do tempo de estadia dos navios, impactando diretamente a eficiência portuária e a cadeia de suprimentos agrícola. Esses problemas decorrem de gargalos como alta demanda sazonal, limitação de recursos e ineficiências na gestão das atracações, resultando em custos operacionais elevados, incluindo penalidades de demurrage.

Para enfrentar esses desafios, é fundamental investigar métodos que permitam prever com maior precisão o comportamento das filas e os tempos de espera e estadia dos navios. A Teoria das Filas e a Simulação por Eventos Discretos são abordagens amplamente utilizadas na modelagem de sistemas portuários, mas suas limitações e aplicações ainda precisam ser melhor analisadas para determinar qual oferece maior precisão na previsão

do desempenho portuário. Além disso, a priorização das atracções por meio da escolha adequada da regra de fila pode influenciar significativamente a eficiência do terminal, sendo necessário avaliar quais critérios devem ser considerados para otimizar essa decisão.

Dessa forma, este estudo busca não apenas comparar a eficácia da Teoria das Filas e da Simulação Computacional na previsão dos tempos de espera e estadia dos navios, mas também analisar como a escolha da melhor regra de fila, considerando múltiplos critérios, pode contribuir para a otimização da alocação de navios e a melhoria do fluxo portuário. Ao integrar modelagem preditiva e técnicas de apoio multicritério à decisão, este trabalho pretende fornecer subsídios para estratégias que aumentem a eficiência e a competitividade do Porto de Paranaguá.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma abordagem integrada que combine a Teoria das Filas, a Simulação Computacional e métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) para analisar os tempos de espera e estadia dos navios no Terminal Corredor de Fertilizantes do Porto de Paranaguá, propondo intervenções que contribuam para a eficiência operacional e a redução de gargalos no sistema portuário.

1.3.2 Objetivos Específicos

Em relação aos objetivos específicos, tem-se:

- a) Realizar análise dos tempos dos navios de fertilizantes no Porto de Paranaguá;
- b) Aplicar a Teoria das Filas para a modelagem matemática do processo de espera, operação e permanência dos navios no porto;
- c) Desenvolver um modelo computacional de simulação utilizando o software *ProModel*, reproduzindo o comportamento observado nos dados e nos modelos de filas;
- d) Comparar os resultados obtidos através da abordagem analítica da Teoria das Filas e da simulação computacional, a fim de validar os modelos e entender suas limitações;
- e) Desenvolver uma equação para estimar o tempo médio dos navios no sistema no modelo M/G/3, utilizando como base os resultados teóricos do modelo M/G/1, já existente

na literatura, e validando sua eficácia por meio de simulações;

f) Utilizar a metodologia de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) para selecionar a melhor regra de fila, baseada em critérios operacionais relevantes, contribuindo para a eficiência do sistema portuário.

1.4 Justificativa

O presente trabalho justifica a relevância estratégica do Terminal Corredor de Fertilizantes do Porto de Paranaguá na cadeia de suprimentos agrícolas do Brasil. Esse porto desempenha um papel fundamental na entrega de fertilizantes, insumo essencial para a produção agrícola, e sua eficiência operacional impacta diretamente a competitividade do setor agrícola brasileiro no cenário global.

Os longos tempos de espera enfrentados pelos navios que transportam fertilizantes resultam em tempos de estadia elevados, ou que, se não forem controlados, podem gerar custos operacionais significativos, incluindo multas por sobreestadia (sobreestadia). No terminal "Corredor de Fertilizantes", no Porto de Paranaguá, o tempo médio de espera para atracação atinge 8,44 dias, tendo casos de quase 37 dias de espera, enquanto o tempo médio de estadia chega a 12,94 dias, tendo alguns registros com mais de 40 dias de estadia. Esses atrasos impactam diretamente a eficiência logística, podendo comprometer o abastecimento do setor agrícola e gerar um efeito em cascata em toda a cadeia de suprimentos, afetando a produção de alimentos e a segurança alimentar do país.

A análise e otimização dos tempos de esperança no porto são, portanto, questões de grande relevância econômica e social. Neste contexto, a pesquisa propõe uma abordagem integrada que combina a Teoria das Filas, a Simulação Computacional e a Metodologia de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) para compreender e mitigar os gargalos operacionais. Enquanto a Teoria das Filas e a Simulação permite modelar e analisar o fluxo de navios e os impactos das regras de atração, a AMD auxilia na definição da melhor regra de fila ao considerar múltiplos critérios operacionais e econômicos.

Essa abordagem visa promover a rotatividade dos berços e reduzir os impactos financeiros dos atrasos, tornando o terminal mais eficiente. Atualmente, a taxa de utilização dos berços no terminal de fertilizantes atinge valores críticos acima de 95% em determinados períodos, o que evidencia o risco de congestionamento e a necessidade de estratégias mais eficientes de gestão portuária.

A relevância do tema se estende ao contexto nacional e internacional, uma vez que a eficiência das operações portuárias é essencial para a inserção do Brasil no comércio global de produtos agrícolas. Dessa forma, esta pesquisa não apenas contribui para a otimização da operação no Porto de Paranaguá, mas também se alinha a uma necessidade mais ampla de aprimoramento da infraestrutura logística do país, promovendo o desenvolvimento sustentável do setor agrícola e fortalecendo a competitividade brasileira no mercado global.

1.5 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos, sendo o primeiro a Introdução, que contextualiza o tema e o cenário de aplicação, além de apresentar os objetivos e a justificativa do estudo.

O segundo capítulo, intitulado fundamentação teórica, apresenta as bases conceituais que sustentam a pesquisa, abordando ferramentas como Teoria das Filas, Simulação e apoio multicritério à decisão, que são aplicadas no setor portuário como suporte à gestão e à tomada de decisão nesse contexto.

No terceiro capítulo, são discutidos a metodologia e os procedimentos de pesquisa, onde são descritos os métodos adotados para a obtenção dos resultados, detalhando o processo de construção da pesquisa.

O quarto capítulo apresenta os resultados e discussão. Os resultados são expostos e suas implicações são debatidas, ressaltando possíveis padrões ou tendências observadas, além de explorar oportunidades de melhoria no contexto estudado. Esse capítulo busca conectar os resultados obtidos com as metas iniciais do trabalho.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões, sintetizando as principais contribuições do estudo e sugerindo possíveis desdobramentos para pesquisas futuras.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Neste capítulo são abordados aspectos que servirão de base para a análise realizada.

2.1 Setor Portuário brasileiro

2.1.1 ANTAQ

A Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) é uma autarquia especial brasileira, com autonomia administrativa e funcional, vinculada ao Ministério da Infraestrutura. Ela tem a responsabilidade sobre a regulamentação, o controle das tarifas, a pesquisa e o desenvolvimento no que se refere ao transporte aquaviário no Brasil e atua em conformidade com o Comando da Marinha, que está ligado ao Ministério da Defesa e trata de questões relacionadas à Marinha Mercante, mantendo uma conexão com a defesa nacional e a segurança da navegação tendo o objetivo de garantir que o trânsito nas vias aquáticas seja realizado de maneira mais segura e econômica, aderindo a certos padrões estabelecidos como eficiência, conforto, segurança entre outros [18].

A Lei nº 12.815, conhecida como a Lei dos Portos [10], dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários. Esta lei tem como objetivo regular a exploração pela União dos portos e instalações portuárias e as atividades desempenhadas pelos operadores portuários. Por meio do Decreto nº 8.033, que regulamenta a Lei nº 12.815, é feito o detalhamento das disposições legais que regulam a exploração de portos organizados e de instalações portuárias. Este decreto define as orientações para a operação de portos organizados e instalações portuárias, incluindo a criação do plano geral de concessões do setor portuário, a regulamentação do conteúdo, formato e frequência de atualização dos

planos de desenvolvimento e zoneamento dos portos, entre outros aspectos.

A ANTAQ mantém uma base de dados estatísticos aquaviários que tem informações sobre a movimentação e transporte de cargas durante o ano corrente nas instalações portuárias outorgadas pela mesma. Essa base é atualizada regularmente e pode ser acessada gratuitamente através do *site* da ANTAQ disponibilizando tabelas do seu anuário estatístico, que compila informações como por exemplo quais as cargas transportadas, o tempo de atracação, dados da frota, dados de afretamento, entre outros.

2.1.2 Elementos de um sistema portuário

Um sistema portuário é responsável por executar as operações de transporte de passageiros ou movimentação e armazenagem de mercadorias provenientes do transporte aquaviário, que é utilizado para transportar produtos como granéis líquidos, produtos químicos, carvão, cereais e bens diversificados e/ou de alto valor em contêineres [8] e é o principal meio utilizado para as transações comerciais internacionais devido a sua capacidade de movimentar grandes volumes de carga, custos reduzidos para longas distâncias e a flexibilidade para transportar diversos tipos de mercadorias [20]. Os principais elementos para se entender um sistema portuário são discutidos a seguir.

I. Portos

Um porto é uma área projetada para acomodar embarcações, devendo oferecer aos seus usuários conveniências para a movimentação de materiais, cargas e pessoas, tanto da água para a terra quanto da terra para a água [22]. São estruturas protegidas contra ondas e correntes, proporcionando um local seguro na orla ou costa onde os navios podem atracar com segurança para realizar operações de carga e descarga. Também podem servir para o embarque e desembarque de passageiros. Geralmente, esses locais são equipados com guindastes que facilitam o movimento de carga ou descarga de navios, seja de granéis sólidos, líquidos, carga geral ou contêineres [17].

II. Terminal Portuário

Um terminal portuário pode ser definido como uma instalação portuária explorada por uma entidade jurídica sendo utilizada para a movimentação e/ou armazenagem de passageiros ou mercadorias que estão em trânsito por via aquaviária. Essas instalações podem incluir terminais de carga e descarga, áreas de armazenamento temporário, armazéns e áreas de embarque e desembarque de passageiros. Essas operações abrangem tanto o recebimento de mercadorias e passageiros provenientes de embarcações quanto o envio

deles para diversos destinos via transporte aquático [21].

III. Berço de atracação

Os berços de atracação são locais dentro de um porto usados para atracar embarcações e movimentar cargas, facilitando tanto o embarque, que é o processo de carregar mercadorias nos navios, quanto o desembarque, que é a retirada dessas mercadorias [1].

Um porto é composto por várias partes que formam a sua estrutura total. O elemento mais proeminente e facilmente visível é o berço, sendo denominado como a área reservada para o ancoramento dos navios, geralmente projetado para acomodar somente uma embarcação de cada vez [39].

IV. Estadia do navio no Porto

Estadia de um navio no porto é o tempo total que um navio fica em um cais para realizar operações de carregamento e descarregamento de mercadorias. É a soma das seguintes atividades no porto: tempo de espera para o navio atracar (fila); tempo de espera para o início da operação; tempo em operação (carga ou descarga) e tempo que leva para desatracar [2]. O termo estadia refere-se ao período combinado entre as partes do contrato, no qual o armador ou operador do navio coloca e mantém a embarcação à disposição do afretador (ou do consignatário da mercadoria) para as operações de carga e/ou descarga.

V. *Demurrage*

Demurrage é o atraso além do tempo permitido de estadia, que resulta em um pagamento de indenização, prevista no contrato, paga ao armador, pelo afretador (ou consignatário), com a taxa diária previamente estabelecida. Quando um navio excede o tempo permitido, ele incorre em sobre estadia e se torna responsável pelo pagamento dessa indenização [14].

VI. Tipos de carga

Os tipos de carga referem-se às características físicas das mercadorias, que influenciam a forma de embalagem e armazenamento, bem como a escolha dos modais de transporte e dos equipamentos utilizados para sua movimentação [32]. Os principais tipos de carga são:

- Carga geral: também chamada de carga solta, é formada por itens independentes, que podem ou não estar embalados, e são carregados separadamente durante o transporte;

- Carga containerizada: também conhecido como carga unitizada, é composta pelo agrupamento de itens individuais, possibilitando o embarque simultâneo de grandes volumes de mercadorias;
- Granel sólido: geralmente medida em massa ou volume, como metros cúbicos, toneladas, litros. São despejadas diretamente no porão do navio. Essa forma de transporte é comum para *commodities* como grãos, minérios, fertilizantes;
- Granel líquido: armazenadas e movimentadas em tanques específicos, são exemplos de carga a granel líquido o petróleo, óleos vegetais etc.

VII. Espécies de navegação

Conforme cita [3], existem diversos tipos de navegação:

- Navegação de cabotagem: realizada entre portos oriundos do mesmo país, utilizando rotas marítimas ou uma combinação de rotas marítimas e fluviais;
- Navegação de longo curso: envolve o transporte de pessoas ou mercadorias entre portos de países diferentes;
- Navegação fluvial e lacustre: ocorre em rios, canais, lagos e lagoas, ligando portos da mesma nação e, eventualmente, portos estrangeiros ao longo dessas vias;
- Navegação interior: desenvolve-se em canais, rios, lagoas, enseadas, baías e enseadas;
- Navegação de apoio marítimo: fornece suporte às atividades de exploração de hidrocarbonetos e outros recursos minerais submersos;
- Navegação de apoio portuário: executada em áreas portuárias marítimas, fluviais ou lacustres, auxiliando as operações dos portos, terminais e embarcações comerciais.

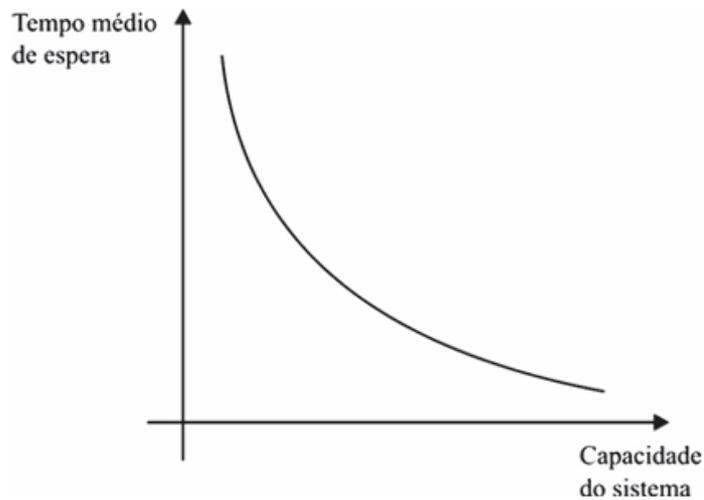
2.2 Teoria das filas

A Teoria das Filas é um dos ramos da Pesquisa Operacional que se dedica a estudar as relações entre as demandas de um sistema e os atrasos enfrentados pelos usuários desse sistema, permitindo a análise e otimização do fluxo de usuários, ou seja, pessoas, produtos, veículos ou informações em diversos contextos [6]. Essa análise de filas investiga a medição do tempo de espera em que um determinado cliente espera em filas, empregando indicadores de desempenho como o comprimento médio de uma fila, número médio de

clientes no sistema, o tempo médio da espera em fila e o tempo médio do cliente no sistema [38].

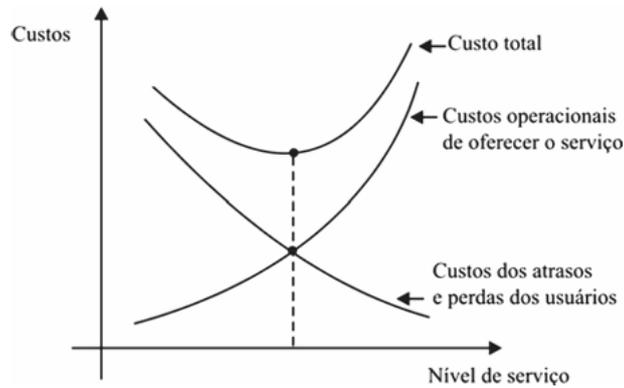
Com a curva de *trade-off* entre a capacidade de um sistema (como por exemplo número de berços de atracação), e o tempo médio dos usuários em fila é possível verificar, conforme Figura 2.1, que o tempo em que o usuário está em fila diminui ao passo que a capacidade aumenta. Investir em um aumento de capacidade, ou seja, aumentar o número de atendentes em um sistema desencadeia em custos mais altos, portanto o objetivo da Teoria das filas é encontrar um equilíbrio ideal entre essas duas medidas [27].

Figura 2.1: Curva *trade-off* entre capacidade do sistema e o tempo médio de espera



Fonte: [6]

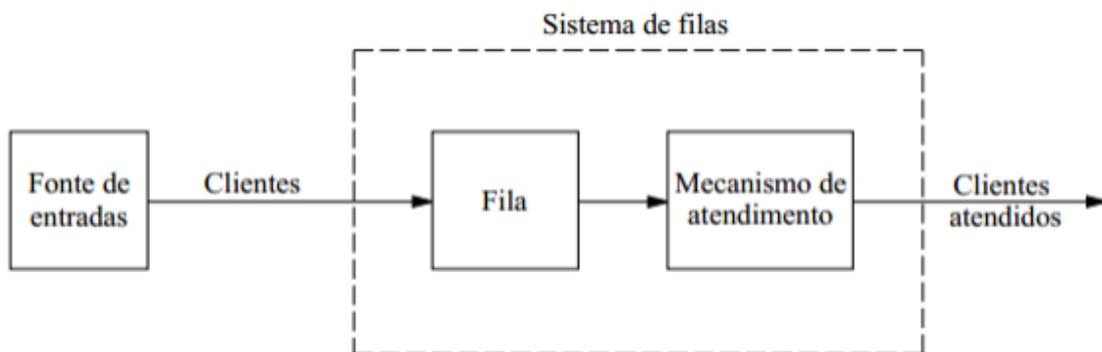
Segundo [6], a Teoria das filas contribui em modelos de otimização, sendo capaz de minimizar a soma dos custos de ofertar um nível de serviço no sistema e a soma dos custos das perdas de usuário devido a fila. A Figura 2.2 mostra o aumento de custos por serviços mais rápidos (mais equipamentos, veículos, pessoas etc.) e o custo de fila (tempo de espera e tamanho das filas). Enquanto os custos operacionais para fornecer o serviço aumentam com o nível de serviço, os custos decorrentes dos atrasos enfrentados pelos usuários diminuem.

Figura 2.2: *Trade off* custos por serviço e nível de serviço

Fonte: [6]

Um sistema de filas, conforme ilustrado na Figura 2.3, leva em consideração um usuário que chega, aguarda para ser atendido, passa pelo atendimento e, em seguida, sai do sistema [11]. Portanto o sistema é determinado através dos seguintes elementos: o processo probabilístico de chegada de usuários no sistema; a disciplina da fila, ou seja, como funciona a ordem que esses usuários que chegam são atendidos; e o processo probabilístico de atendimento desses usuários [6].

Figura 2.3: Processo de chegada e atendimento



Fonte:[27]

Com o objetivo de simplificar as variações dos diversos tipos de modelos de filas, geralmente se utiliza a notação de Kendall-Lee que é composta por seis características para sistemas de fila única com um ou mais servidores fazendo trabalhos paralelamente, sendo geralmente resumida apenas pelas três primeiras: $(a/b/c):(d/e/f)$, onde “a” representa a distribuição do processo de chegada; “b” a distribuição do processo de atendimento; “c” o número de servidores; “d” a regra da fila; “e” a capacidade do sistema; “f” o tamanho da população [6].

- a) Processo de chegada: a distribuição de probabilidade do processo de chegada, ou mais especificadamente o intervalo de tempo entre as chegadas sucessivas pode ser de forma determinística ou probabilística, levando em conta os intervalos de tempo independentes e igualmente distribuídos [6]. Essa fonte de chegadas é denominada como população solicitante, ou seja, usuários que buscam por algum tipo de atendimento [27];
- b) Processo de atendimento: é formado por um ou mais canais de atendimento, onde o usuário é completamente atendido por esse atendente, sendo o início desse atendimento até o seu término chamado de Tempo de atendimento, podendo seguir uma distribuição determinística ou probabilística [27]. Admite-se que o servidor só pode atender um usuário por vez, a menos que seja atendimento em lote, como por exemplo várias pessoas entrando em um elevador ao mesmo tempo [6];
- c) Número de servidores: refere-se à quantidade disponível de atendentes do sistema, como por exemplo caixas de atendimento, máquinas, pistas de aterrissagem, berços de atracação de navios [6];
- d) Disciplina fila: Segundo [27], a disciplina da fila refere-se a ordem que os usuários da fila são atendidos e que normalmente adota-se o critério do primeiro que chega, é o primeiro a ser atendido (FIFO – “*first in, first out*”). Mas existem algumas outras regras de filas como por exemplo o último a chegar é o primeiro a ser servido (LCFS – “*last come, first served*”), serviço em ordem aleatória (SIRO – “*service in random order*”) [6];
- e) Capacidade do sistema: De acordo com [25], corresponde ao número máximo de usuários que ele pode acomodar, considerando tanto a fila quanto o atendimento. Existem dois cenários: sistemas de capacidade infinita, que não têm limites para a entrada de usuários, e sistemas de capacidade finita, que, quando lotados, não permitem a entrada de mais usuários;
- f) Tamanho da população: Segundo [38], a fonte pela qual os usuários são gerados pode ser finita ou infinita. Uma fonte finita limita a chegada de usuários para serviço.

Em posse dessa notação, é formado cada modelo de filas, conforme exemplos a seguir, contendo c servidores:

- Modelo M/M/c: esse modelo de filas apresenta distribuições tanto dos tempos entre chegadas quanto do tempo de atendimento seguindo a distribuição poissoniana

(distribuição exponencial) [27];

- Modelo G/G/c: É caracterizado pelo processo de chegada e o processo de atendimento seguindo uma distribuição genérica, já que não podem ser descritos pelas distribuições exponenciais, sendo mais complexos analiticamente e, portanto, tendo seus resultados apresentados por meio de aproximações ou simulações [6];
- Modelo M/D/c: Seu processo de chegadas segue a distribuição exponencial e o tempo de atendimento segue uma distribuição determinística (constante) ou fixa onde geralmente esse atendimento é uma atividade rotineira e com pouca variação [27];
- Modelo M/G/c: Caracteriza-se por um processo de chegadas que segue uma distribuição exponencial, enquanto o tempo de atendimento pode seguir qualquer distribuição estatística, permitindo maior flexibilidade na modelagem do sistema[6];
- Modelo $M/E_k/c$: O processo de chegadas segue uma distribuição exponencial e o seu processo de atendimento segue a distribuição de Erlang, onde k significa o parâmetro que especifica o grau de variabilidade desses tempos de atendimento levando em consideração a média [27]. Os cálculos necessários para a obtenção do parâmetro k , utilizado na modelagem dos tempos de serviço, seguem a abordagem baseada no coeficiente de variação (C_v). A média dos tempos de serviço (μ) e o desvio padrão (σ) são calculados a partir dos dados observados. O coeficiente de variação é obtido pela relação entre o desvio padrão e a média dos tempos de serviço, conforme a Equação (1):

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \quad (1)$$

A partir do C_v , pode ser calculado o quadrado do coeficiente de variação (C_v^2), conforme Equação (2):

$$C_v^2 = \left(\frac{\sigma}{\mu}\right)^2 \quad (2)$$

Por fim, o número de fases (k) é estimado considerando-se o inverso do quadrado do coeficiente de variação, conforme o método adotado em modelos com tempos de serviço com distribuição Erlang, conforme Equação (3):

$$k = \frac{1}{C_v^2} \quad (3)$$

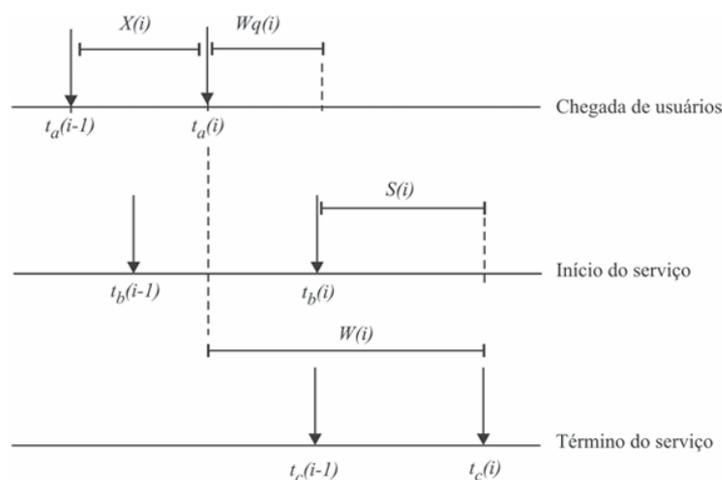
2.2.1 Medidas de desempenho de um sistema de filas

As equações de Teoria das Filas envolvem as variáveis de chegada, atendimento e capacidade de serviço, mostrando como o sistema de filas deve funcionar [27]. De acordo com [6], essas variáveis são definidas pelos seguintes instantes:

- Instante em que o i -ésimo usuário chega no sistema: $t_a(i)$;
- Instante em que se inicia o serviço do i -ésimo usuário no sistema: $t_b(i)$;
- Instante em que se termina o serviço do i -ésimo usuário no sistema: $t_c(i)$.

Na Figura 2.4 é apresentado como é a relação desses instantes bem como $i-1$.

Figura 2.4: Relação entre os instantes de chegada dos usuário, início e término dos serviços



Fonte:[27]

Com isso, é possível definir as seguintes medidas:

- $X(i) = t_a(i) - t_a(i - 1)$: i -ésimo intervalo entre as chegadas dos usuários i e $i - 1$;
- $S(i) = t_c(i) - t_b(i)$: Tempo de serviço do usuário i ;
- $W_q(i) = t_b(i) - t_a(i)$: Tempo em que o usuário i ficou em fila.

Supondo que as distribuições sejam estacionárias e não dependam do estado do sistema, podem ser definidas as variáveis a seguir.

a. A taxa média de chegada (λ) é a taxa por unidade de tempo pela qual são gerados os eventos de chegada ou partida, conforme Equação (4):

$$\lambda = \frac{1}{E(X)} \quad (4)$$

Onde:

λ : taxa média de chegadas;

$E(X)$: média do intervalo entre as chegadas.

b. A taxa média de atendimento (μ) é a média do tempo de serviço ou atendimento do sistema, representada pela Equação (5):

$$\mu = \frac{1}{E(S)} \quad (5)$$

Onde:

μ : taxa média de atendimentos;

$E(S)$: média do intervalo entre o serviço.

A carga do sistema (ρ), também conhecida como taxa de utilização do sistema, é dada pela Equação (6):

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu} \quad (6)$$

Onde:

ρ = carga do sistema (taxa de utilização);

λ = taxa média de chegadas;

μ = taxa média de atendimentos;

c = número de servidores.

A condição para que o sistema esteja em equilíbrio é $\rho < 1$, a não ser que o intervalo entre as chegadas e o tempo de serviço sejam determinísticos (ou seja, modelo de filas D/D/m). Nesse caso, o sistema consegue atingir equilíbrio com $\rho = 1$ [6]. A teoria das filas se concentra no estado de equilíbrio, já que a solução analítica de um sistema com regime transiente (ou seja, ρ acima de 1) é mais complexa [27]

O desvio padrão (σ) é dado pela Equação (7):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

Onde:

σ = desvio padrão;

n = número de observações;

x_i = valores individuais da amostra;

\bar{x} = média da amostra.

A variância (σ^2) é dada pela Equação (8):

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (8)$$

Onde:

σ^2 = variância.

Levando em consideração o regime estável, são apresentadas no Quadro 2.1 as medidas de desempenho.

Tabela 2.1: Descrição das medidas de desempenho de Teoria das Filas

| Variável | Descrição |
|----------|--|
| P_n | Probabilidade de n usuários no sistema |
| W_s | Tempo médio no sistema |
| W_q | Tempo médio na fila |
| L_s | Número médio no sistema |
| L_q | Número médio na fila |

Fonte: Adaptado de [27]

Sendo λ uma constante para todo n , a relação entre o número médio de usuários e o seu tempo no sistema, é apresentada na Equação (9):

$$L_s = \lambda W_s \quad (9)$$

De maneira análoga, também é provada pela Fórmula de Little a relação entre o número médio de usuários e seu tempo em fila, conforme Equação (10):

$$L_q = \lambda W_q \quad (10)$$

Segundo [27], essas relações são adequadas, já que, ao saber uma dessas variáveis, as outras podem ser imediatamente determinadas analiticamente.

No Quadro 2.2 são apresentadas as equações das medidas de desempenho para a determinação das características operacionais dos principais modelos com 1 servidor.

Tabela 2.2: Medidas de desempenho dos modelos: M/M/1, M/E_k/1, M/D/1 e M/G/1

| Símbolo | M/M/1 | M/E _k /1 | M/D/1 | M/G/1 |
|---------|--------------------------------------|---|----------------------------|---|
| W_q | $\frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$ | $\frac{1+k}{2k} \cdot \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$ | $\frac{L_q}{\lambda}$ | $\frac{L_q}{\lambda}$ |
| W_s | $\frac{1}{\mu-\lambda}$ | $W_q + \frac{1}{\mu}$ | $W_q + \frac{1}{\mu}$ | $W_q + \frac{1}{\mu}$ |
| L_s | $\frac{\lambda}{\mu-\lambda}$ | λW_s | $\rho + L_q$ | $\rho + L_q$ |
| L_q | $\frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)}$ | $\frac{1+k}{2k} \cdot \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$ | $\frac{\rho^2}{2(1-\rho)}$ | $\frac{\lambda^2 \sigma^2 + \rho^2}{2(1-\rho)}$ |

Fonte: Adaptado de [27]

Embora os modelos de filas apresentados sejam mais triviais e de fácil aplicação em muitos cenários práticos, existem sistemas de filas onde a matemática envolvida é significativamente mais complexa. Em modelos com distribuições gerais de chegadas e tempos de serviço, como no G/G/c e M/G/c, em alguns modelos com mais de um servidor ou em sistemas com interações mais sofisticadas entre clientes e servidores, as equações que descrevem o comportamento da fila se tornam muito menos tratáveis analiticamente. Nessas situações, é comum recorrer a métodos numéricos ou simulações computacionais para se obter soluções e entender o desempenho do sistema [26].

2.3 Simulação

De acordo com [27], a simulação é a ferramenta mais utilizada da área de pesquisa operacional que possibilita modelar o comportamento de um determinado sistema em diferentes condições ou cenários utilizando um computador. Essa simulação é realizada usando distribuições de probabilidade para gerar eventos aleatórios que representam suas operações. Depois, o sistema simulado é executado para coletar observações estatísticas sobre seu desempenho com base nos eventos gerados aleatoriamente.

Os modelos de simulação representam uma simplificação das interações complexas entre os componentes do sistema buscando abstrações da realidade que buscam refletir o comportamento verdadeiro do sistema de forma simplificada e capturando apenas os aspectos essenciais para a finalidade específica em questão, sendo menos complexos que o sistema real, mas ainda assim procurando preservar a fidelidade ao comportamento observado [13].

Esses modelos podem ser classificados em três dimensões principais, cada uma abordando aspectos diferentes do comportamento e das características do sistema modelado. A primeira classificação distingue entre modelos estáticos e dinâmicos. Modelos estáticos não consideram a evolução do sistema ao longo do tempo. Eles avaliam uma situação específica em um instante fixo, sem levar em conta a influência de eventos sequenciais ou mudanças temporais. Por outro lado, modelos dinâmicos acompanham as alterações no estado do sistema ao longo do tempo, permitindo a análise de processos que se desenvolvem e interagem continuamente. Essa característica torna os modelos dinâmicos mais adequados para estudos em que o impacto do tempo é essencial, como a análise do fluxo de navios em um porto ao longo de um dia.

A segunda dimensão classifica os modelos em determinísticos ou estocásticos, dependendo do nível de incerteza envolvido. Modelos determinísticos fornecem resultados fixos e previsíveis, pois não incluem variabilidade ou elementos de aleatoriedade em seus parâmetros. Esses modelos são úteis para situações em que as condições são controladas e os resultados podem ser calculados com exatidão. Em contraste, os modelos estocásticos incorporam incertezas e variabilidade ao representar os eventos do sistema, utilizando distribuições de probabilidade para capturar a aleatoriedade intrínseca dos processos. Essa abordagem é especialmente valiosa para sistemas como os portuários, onde os tempos de chegada e de serviço variam devido a fatores imprevisíveis.

A terceira distinção se dá entre modelos contínuos e discretos. Nos modelos contínuos,

as mudanças no estado do sistema ocorrem de forma constante ao longo do tempo, sendo geralmente descritas por equações diferenciais que capturam as taxas de variação das variáveis de estado [27]. Esses modelos são apropriados para fenômenos que evoluem continuamente, como o estudo do nível da maré no porto. Por outro lado, os modelos de eventos discretos representam sistemas onde as mudanças no estado ocorrem apenas em momentos específicos, geralmente associados a eventos bem definidos, como a chegada ou partida de um navio. Nessa abordagem, o estado do sistema muda instantaneamente em função de eventos que podem ocorrer de forma aleatória no tempo [24]. Essa técnica é especialmente adequada para modelar operações logísticas, como filas de espera e alocação de recursos, comuns em contextos portuários.

Os blocos construtivos básicos para a construção de um modelo de simulação são apresentados a seguir [27]: primeiro deve-se definir o estado do sistema, por exemplo o número de clientes em fila; em seguida identificar quais os possíveis estados do sistema que possa vir a acontecer; detectar os possíveis eventos que mudariam esse estado do sistema, como por exemplo o processo de chegadas e término de atendimento em um sistema de filas; fazer o registro da passagem de tempo (simulado); algum método gerando eventos aleatoriamente de diversos tipos; e por fim, uma fórmula para identificar as transições de estado geradas pelos diversos tipos de eventos.

Para assegurar que o modelo reflita com precisão as características do sistema real, é importante realizar uma etapa preliminar de planejamento e abstração. Essa etapa organiza e estrutura as informações relevantes, servindo de base para a construção do modelo. Esse processo ocorre por meio do desenvolvimento do modelo conceitual.

2.3.1 Modelo conceitual

Modelo conceitual pode ser definido como sendo uma representação abstrata de um determinado modelo de simulação que se deseja construir, sendo um guia inicial que antecede o modelo computacional e que busca estabelecer as bases para transformar os dados brutos em um modelo detalhado, alinhando-se com os objetivos do projeto de simulação [12].

A regra do "40-20-40", segundo [35], orienta o desenvolvimento de modelos, indicando que para criar um modelo de simulação deve-se dividir seu tempo da seguinte maneira: 40% para atividades como definir o problema, planejar o projeto, estabelecer o sistema, formular o modelo conceitual, realizar um projeto experimental preliminar e preparar os dados de entrada; 20% para a conversão do modelo; e 40% para a fase de experimentação,

incluindo trabalhar com um modelo validado e verificado, finalizar o projeto experimental, analisar os resultados, interpretar as conclusões, implementar as recomendações e documentar o processo.

De acordo com [13], a fase de desenvolvimento do modelo conceitual representa o estágio mais importante em um estudo de simulação, já que é nessa etapa que se estabelece as bases e diretrizes para todo o processo, porém, é comum que esta etapa seja negligenciada por muitos analistas e até mesmo em alguns livros, apesar de sua importância fundamental. Alguns tipos de construção de modelos conceituais são: baseados em eventos; baseados em agentes; de estado; de estrutura e de fluxo de processos.

2.4 Apoio Multicritério à Decisão

Apoio Multicritério à Decisão (AMD) integra a área da pesquisa operacional e se destaca por considerar diversos critérios, tanto quantitativos quanto qualitativos, ao escolher entre várias alternativas possíveis. Essa abordagem oferece maior flexibilidade e transparência na resolução de problemas complexos [42].

Conforme [41], essa técnica tem sido amplamente adotada, especialmente no setor de transporte, proporcionando uma série de vantagens. Em primeiro lugar, ela favorece decisões mais bem fundamentadas, justificáveis e transparentes, ao lidar de forma simultânea e estruturada com perspectivas muitas vezes conflitantes. Além disso, essa abordagem facilita a organização e a gestão de grandes volumes de informações e dados técnicos. Outro benefício é o elevado grau de controle que oferece, permitindo a atribuição de pontuações e pesos com base em métodos consolidados, possibilitando ainda o cruzamento com outras fontes de dados e a realização de ajustes posteriores, caso o modelo de decisão, as alternativas avaliadas ou os dados utilizados precisem ser revisados.

De acordo com [5], os métodos de análise multicritério podem ser divididos em compensatórios e não compensatórios, dependendo da forma como tratam o desempenho dos critérios. Nos métodos compensatórios, é possível que um bom desempenho em um critério compense um desempenho inferior em outro, caracterizando uma troca, ou *trade-off*, entre os critérios. Isso significa que os decisores podem aceitar soluções que não sejam ótimas em todos os aspectos, desde que o desempenho positivo em alguns critérios seja suficiente para equilibrar os resultados negativos em outros. Em contraste, os métodos não compensatórios não admitem essa compensação; cada critério é avaliado de maneira independente, e um desempenho insatisfatório em um critério não pode ser equilibrado

por resultados positivos em outros.

Os Métodos de Apoio Multicritério à Decisão são amplamente utilizados para resolver problemas logísticos complexos, como em portos e setores de transporte, onde é essencial avaliar múltiplos critérios simultaneamente para otimizar as operações. Dentre esses métodos, o *Analytic Hierarchy Process (AHP)* destaca-se por sua ampla aplicabilidade, sendo um dos mais empregados em estudos voltados à priorização e classificação de alternativas [31] [28] [19].

2.4.1 *Analytic Hierarchy Process (AHP)*

O *Analytic Hierarchy Process (AHP)* é uma metodologia utilizada para solucionar problemas de decisão complexos, estruturando-os em diferentes níveis hierárquicos, como critérios, subcritérios e subsubcritérios [36]. Este método possibilita a análise de aspectos qualitativos e quantitativos, proporcionando flexibilidade na definição de objetivos. Sua abordagem central baseia-se em três fases principais: a decomposição do problema, a realização de comparações paritárias entre os elementos e a síntese das prioridades obtidas [34].

De acordo com [16], o método AHP é estruturado por estágios. O primeiro é a estruturação da hierarquia, onde o objetivo da decisão é definido no nível superior, enquanto os níveis subsequentes detalham os critérios, subcritérios e alternativas que contribuem para alcançar esse objetivo. O segundo consiste nas comparações paritárias, nas quais os tomadores de decisão realizam comparações entre pares de elementos em cada nível da hierarquia, assumindo que esses elementos são independentes entre si. No nível dos critérios, as comparações avaliam a importância relativa entre pares de critérios; posteriormente, pares de subcritérios sob o mesmo critério são analisados, seguindo essa lógica até os níveis mais específicos. Essas comparações utilizam frequentemente a escala de nove pontos proposta por Saaty [33]. Por fim, o terceiro estágio é a verificação da consistência, onde os julgamentos fornecidos pelos especialistas são avaliados para garantir coerência na determinação da importância relativa de cada critério e das alternativas, assegurando a confiabilidade das decisões tomadas para alcançar o objetivo final.

Conforme [37], o AHP facilita a construção de critérios de agregação de julgamentos, prioridades e consenso entre especialistas ao adotar critérios para agregar julgamentos e estabelecer prioridades, utilizando comparações entre elementos e a média geométrica para alcançar a solução final. A estrutura hierárquica desse método apresenta diversas vantagens, permitindo que julgamentos subjetivos, fundamentados na experiência ou

percepção dos especialistas, sejam transformados em medidas objetivas e quantificáveis. Dessa forma, o AHP contribui para decisões mais claras e bem embasadas, oferecendo uma abordagem estruturada para comparar e priorizar critérios e alternativas.

Capítulo 3

Metodologia

3.1 Tipo de pesquisa

Conforme [30], as pesquisas visam explorar um ou mais aspectos de determinado tema e podem ser classificadas com base em sua natureza, objetivos e procedimentos técnicos.

Quanto à sua natureza, este trabalho é caracterizado como uma pesquisa aplicada, pois busca estudar e propor soluções para o tempo de espera, estadia e melhor regra de filas no Porto de Paranaguá.

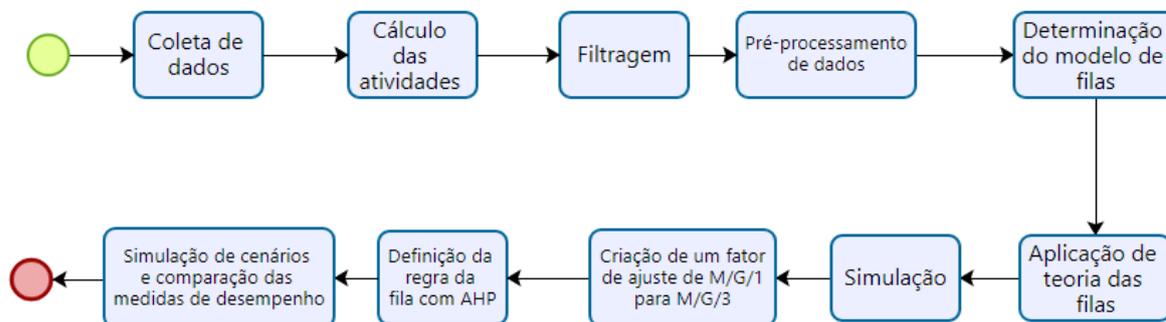
Em relação aos objetivos, trata-se de uma pesquisa exploratória, com o propósito de fornecer informações sobre os tempos de estadia dos navios no referido porto, permitindo a definição e delimitação dessa análise, além de selecionar a melhor regra da fila.

Por fim, do ponto de vista dos procedimentos técnicos, a pesquisa é quantitativa, utilizando cálculos matemáticos e estatísticos para analisar e propor soluções ao problema estudado.

3.2 Método do trabalho

A metodologia adotada para o processo de extração e tratamento e análise dos dados do presente trabalho seguiu um fluxo estruturado de etapas, conforme ilustrado na Figura 3.1.

Figura 3.1: Fluxograma da etapas da metodologia do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir serão explicadas cada uma destas etapas mencionadas na Figura 3.1.

3.2.1 Coleta de dados

Os dados utilizados nesta pesquisa foram obtidos a partir do Estatístico Aquaviário da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) referente ao ano de 2023. A formação da base de dados para esta pesquisa foi realizada através da fusão de duas bases de dados distintas: a base de dados de carga e a de atracação. Elas são fornecidas no formato de texto (.txt), mas para facilitar a manipulação e análise dos dados, foi necessário converter esses arquivos de texto para o formato *Excel* (.xlsx) utilizando a função “Obter dados externos”. Como as bases de dados abrangem toda a movimentação portuária do país no ano de 2023, a coleta foi realizada de forma sistemática de maneira que se fosse possível buscar apenas os dados referentes ao porto estudado e somente as informações necessárias para o estudo. Para combinar as duas bases de dados em uma única base de dados, foi utilizado o recurso de pesquisa vertical (*PROCV*) do Excel. O *PROCV* foi usado para buscar e conectar informações correspondentes entre as duas bases com base em um identificador comum, a variável “IDAtacação”. Para cada “IDAtacação” existem vários tipos de “IDCarga”, isso acontece porque ao ocorrer a atracação de um navio em um porto para realizar operações de carga ou descarga de mercadorias, é comum que ele transporte uma diversidade de cargas. Cada uma dessas cargas é identificada por um *ID* único, utilizado para propósitos de registro e monitoramento. Dessa forma, é viável que uma única operação de atracação, identificada por um único *ID*, englobe o transporte de múltiplas cargas distintas, cada uma delas associada a seu próprio *ID*.

As variáveis selecionadas da base de dados de atracação foram:

- *IDAtracação*: código de identificação da atracação;
- Berço: nome do berço cadastrado previamente na base da ANTAQ;
- Data chegada: data e hora em que a embarcação chegou no porto;
- Data atracação: data e hora em que a embarcação atracou no berço;
- Data início operação: data e hora de início da operação;
- Data término operação: data e hora de término da operação;
- Data desatracação: data e hora em que a embarcação desatracou do berço e foi embora do porto.

Já na base de cargas foram selecionadas as seguintes variáveis:

- *IDAtracação*: código de identificação da atracação;
- *IDCarga*: código de identificação da carga;
- Mercadoria: nome da posição da Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM SH4) para mercadoria;

Com isso, foi obtida uma base com todas essas variáveis e todos os registros de navios que chegaram no país em 2023. Como o foco do trabalho foi o Porto de Paranaguá, foi filtrado para que aparecesse só dados referente a esse porto.

3.2.2 Cálculo das atividades dos navios

Em posse dessas informações foi possível calcular os tempos de cada atividade que as embarcações ficaram no Porto. Essas atividades foram: o tempo de espera para atracação; o tempo de espera para operação; o tempo em operação; o tempo de espera para desatracação; o intervalo entre as chegadas dos navios; e o tempo de estadia.

O tempo de espera para atracação para cada embarcação foi calculado conforme Equação (11).

$$TEA_i = DA_i - DC_i \quad (11)$$

Onde:

i : navio referente ao ID de atracação;

TEA_i : tempo de espera para atracação do navio i ;

DA_i : data e hora de atracação do navio i ;

DC_i : data e hora de chegada do navio i .

O tempo de espera para início da operação para cada embarcação foi calculado na Equação (12):

$$TEIO_i = DIO_i - DA_i \quad (12)$$

Onde: i : navio referente ao ID de atracação;

$TEIO_i$: tempo de espera para início da operação do navio i ;

DIO_i : data e hora de início da operação do navio i ;

DA_i :data e hora de atracação do navio i .

De forma análoga, o tempo de operação de cada embarcação foi calculado na Equação (13):

$$TO_i = DTO_i - DIO_i \quad (13)$$

Onde:

i : navio referente ao ID de atracação;

TO_i : tempo em operação do navio i ;

DTO_i : data e hora de término da operação do navio i ;

DIO_i : data e hora de início da operação do navio i .

O tempo de desatracação de cada embarcação foi calculado conforme a Equação (14):

$$TED_i = DD_i - DTO_i \quad (14)$$

Onde:

i : navio referente ao ID de atracação;

TED_i : tempo de desatracação do navio i ;

DD_i : data e hora de desatracação do navio i ;

DTO_i : data e hora de término da operação do navio i .

Também foi calculado o intervalo entre as chegadas dos navios, conforme é apresentado na Equação (15):

$$IC_i = DC_i - DC_{i-1} \quad (15)$$

Calculou-se o tempo de estadia que cada embarcação ficou no porto, conforme a Equação (16):

$$TE_i = TEA_i + TEIO_i + TO_i + TED_i \quad (16)$$

Onde:

i : navio referente ao ID de atracação;

TE_i : tempo total de permanência do navio i no porto (tempo de estadia).

Por fim, como o *layout* portuário é posicional, ou seja, as embarcações permanecem fixas durante todo o processo, o tempo que o navio esteve atracado foi considerado como o tempo total de atendimento, conforme Equação (17).

$$TA_i = TEIO_i + TO_i + TED_i \quad (17)$$

3.2.3 Filtragem

A partir da base de dados geral de Paranaguá, contendo todas as atracações de 2023, foi possível realizar uma filtragem para obter as bases de dados mais focadas para o estudo em questão (Ver Apêndice A e B). Filtrou-se a variável 'terminal' para que fosse possível estudar mais especificamente o 'Corredor de fertilizantes', que abrange os seguintes berços: Berço 208, Berço 209 e Berço 211, berços que receberam exclusivamente as seguintes cargas:

- Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados;
- Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados;
- Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: nitrogênio, fósforo e potássio;

- Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos;
- Outros fertilizantes minerais ou químicos e produtos deste tipo em tabletes ou formas semelhantes;
- Outros tipos de granel sólido, como cevada, trigo, sal, malte, fosfato de cálcios naturais, Resíduos da Extração do Óleo de Soja, entre outros.

3.2.4 Pré-processamento de dados

Para o pré-processamento da base de dados deste estudo, utilizou-se o método Interquartil (IQR) [40] para a identificação e tratamento de valores atípicos, também conhecidos como *outliers*, que utiliza o *boxplot*, podendo-se obter as seguintes informações:

- Primeiro quartil (Q1): 25% dos dados da amostra são inferiores a esse valor;
- Mediana ou segundo quartil (Q2): 50% dos dados da amostra são superiores a esse valor;
- Terceiro quartil (Q3): 25% dos dados são superiores a esse valor;
- IQR: Terceiro quartil menos o primeiro quartil (Q3-Q1);
- Limite inferior (LI): Valores mínimos, sem contar com os outliers, conforme Equação (18):

$$LI = Q1 - 1.5 \times IQR \quad (18)$$

- Limite superior (LS): Valores máximos, sem contar com os outliers, conforme Equação (19):

$$LS = Q3 + 1.5 \times IQR \quad (19)$$

Feito esses cálculos, são definidos os *outliers*, que são os valores que ultrapassam os limites inferior (LI) e superior (LS). Esses dados discrepantes podem ou não serem retirados da amostra, dependendo do valor padronizado (*Z-score*), conforme Equação (20):

$$Z_{score} = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (20)$$

Onde:

x : Valor individual;

μ : Média dos dados;

σ : Desvio padrão dos dados.

Um Z -score positivo indica que o valor específico está além da média, enquanto um Z -score negativo mostra que o valor está abaixo da média. Quanto mais elevado o valor absoluto do Z -score, maior é a separação entre o valor específico e a média. Para que o *outlier* não seja removido utilizou-se que o z -score esteja dentro do intervalo $[-3$ e $3]$.

Esse método foi aplicado nas amostras das seguintes atividades dos navios: Intervalo entre as chegadas (IC), Tempo de espera para atracação (TEA) e Tempo de estadia (TE).

3.2.5 Determinação da distribuição de probabilidade - Modelo de filas

Foi utilizada a ferramenta *STAT::FIT* para ajustar as distribuições, selecionando a opção "*Auto Fit*". Essa abordagem permitiu identificar quais distribuições eram adequadas para as variáveis IC (Intervalo entre as chegadas) e TA (Tempo total de atendimento), com base na adequação dos ajustes.

Para validar a conformidade dos dados com essas distribuições ajustadas, foram realizados testes de aderência, especificamente o teste de *Kolmogorov-Smirnov* (KS). Esse teste ajuda a verificar se as distribuições ajustadas são uma boa representação dos dados observados, garantindo a precisão dos modelos de distribuição aplicados. A estatística KS é obtida a partir da Equação (21).

$$D = \max_x |F_n(x) - F(x)| \quad (21)$$

Onde:

$F_n(x)$: CDF empírica;

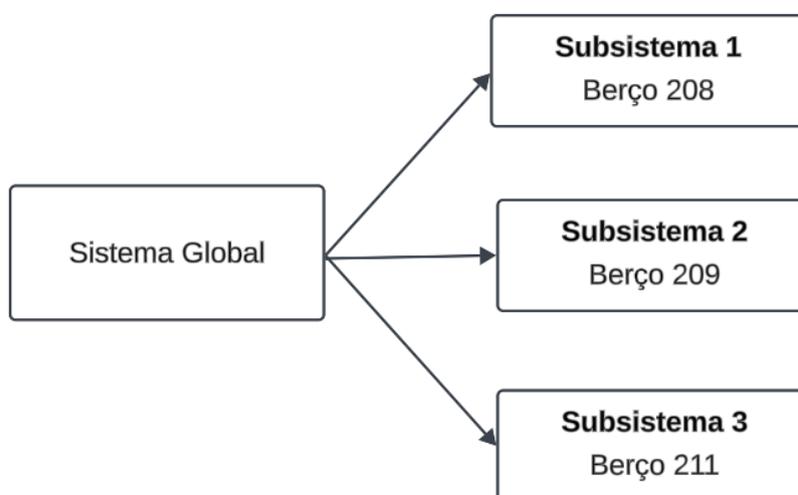
$F(x)$: CDF teórica.

Então quanto menor o valor encontrado, melhor o ajuste da distribuição aos dados, pois a diferença entre as curvas será menor. Além disso, o *STAT::FIT* também retorna um valor p , se esse valor for maior que 0,05, isso significa que não há evidências fortes para rejeitar a hipótese de que os seus dados seguem aquela distribuição, então valores p maiores indicam um bom ajuste.

3.2.6 Aplicação das métricas e medidas de desempenho de Teoria das filas

Como já foi mencionado, o estudo do presente trabalho leva em consideração três servidores: o Berço 208, Berço 209 e Berço 211. Como as aproximações de Teoria das filas para um modelo M/G/3 não são triviais, optou-se por uma abordagem diferente, como é apresentado na Figura 3.2.

Figura 3.2: Divisão do modelo de filas



Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir são apresentados os passos para a realização dos cálculos da Taxa média de chegadas.

- Passo 1: Cálculo das médias dos intervalos entre chegadas nos berços i , j e k , conforme Equação (22):

$$\bar{T}_i, \bar{T}_j, \bar{T}_k \quad (22)$$

Onde:

\bar{T}_i , \bar{T}_j e \bar{T}_k : médias dos intervalos entre chegadas nos berços i , j e k , respectivamente.

- Passo 2: Cálculo do inverso da soma das médias, conforme Equação (23).

$$\frac{1}{\bar{T}_i + \bar{T}_j + \bar{T}_k} \quad (23)$$

Este passo considera o inverso da soma das médias calculadas no passo anterior.

- Passo 3: Cálculo da taxa média de chegadas (λ), conforme Equação (24).

$$\lambda = \frac{\frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_j} + \frac{1}{T_k}}{3} \quad (24)$$

Neste passo, é realizada a soma das taxas individuais de chegada ($\frac{1}{T_i}, \frac{1}{T_j}, \frac{1}{T_k}$) e, em seguida, a divisão por 3 para obter a taxa média.

Já a Taxa média de atendimento é feita para cada um dos subsistemas, utilizando a Equação (25) para o tempo médio de cada subsistema.

$$\mu = \frac{1}{TA} \quad (25)$$

Analogamente a Taxa média de atendimentos, a carga do sistema também é calculada para os três berços, utilizando a Equação (26).

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (26)$$

As equações das medidas de desempenho referente ao modelo de filas selecionado foram apresentadas no Quadro 1. É calculado para cada um dos subsistemas e depois feito uma média para o sistema global.

3.3 Simulação

A simulação foi uma das principais ferramentas utilizadas neste trabalho para compreender e analisar as operações portuárias no Terminal Corredor de Fertilizantes do Porto de Paranaguá. Para isso, adotou-se o *software Promodel*, que permite a modelagem por eventos discretos. A seguir, são detalhadas as etapas e o papel do modelo conceitual na construção da simulação.

3.3.1 Modelo conceitual

A etapa inicial consistiu no desenvolvimento de um modelo conceitual que representasse as operações portuárias de maneira estruturada e clara. Para isso, utilizou-se a notação *Business Process Model and Notation* (BPMN), implementada no *software Bizagi Modeler*. Esse modelo descreveu todas as atividades relacionadas às operações dos navios, abrangendo desde a chegada ao porto até a desatracação. As etapas detalhadas no

modelo incluem: chegada ao porto, espera para atracação, tempo de operação no berço (carregamento ou descarregamento de cargas), desatracação e saída do porto.

O modelo conceitual serviu de base para a construção da simulação computacional no *Promodel*. Através dele, foi possível mapear as interações entre os processos, identificando os tempos associados a cada etapa e estruturar as regras e fluxos do sistema.

3.3.2 Simulação Computacional no *software Promodel*

O *Promodel* foi utilizado para transformar o modelo conceitual em um ambiente computacional que simulasse o comportamento das operações portuária. Este *software* é uma ferramenta de simulação por eventos discretos, amplamente aplicada em contextos como manufatura, logística e operações portuárias. Ele permite a modelagem de sistemas dinâmicos por meio de um ambiente gráfico intuitivo, possibilitando a inclusão de variáveis probabilísticas e cenários realistas.

No modelo desenvolvido no *Promodel*, foram inseridas as distribuições probabilísticas determinadas a partir da análise de dados históricos de 2023, representando a variabilidade dos tempos de chegada e tempo de atracação dos navios no terminal. A simulação foi focada nas seguintes variáveis:

- Tempo de espera em fila: período entre a chegada do navio ao porto e sua atracação;
- Tempo no sistema: soma de todos os tempos desde a chegada até a saída do navio;
- Tempo de atracação: tempo em que o navio esteve atracado realizando operações de carga ou descarga.

A definição do número de replicações para garantir a robustez estatística e a confiabilidade dos resultados será abordada na próxima subseção.

3.3.3 Número de Replicações

O primeiro passo para a definição do número de replicações, foi definir o intervalo de confiança, conforme é apresentado nas Equações (27) e (28).

$$P(\bar{x} - h \leq \mu \leq \bar{x} + h) = 1 - \alpha \quad (27)$$

ou:

$$\bar{x} \pm t_{n-1, \frac{\alpha}{2}} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (28)$$

Onde:

\bar{x} : média das observações da amostra;

$t_{n-1, \frac{\alpha}{2}}$: valor crítico da distribuição t de Student, com $n - 1$ graus de liberdade. Esse valor depende do nível de significância α , onde $\frac{\alpha}{2}$ representa as caudas da distribuição t, já que o intervalo de confiança cobre duas áreas (superior e inferior);

s : desvio padrão amostral, que mede a dispersão dos dados da amostra em torno da média amostral;

n : tamanho da amostra.

Uma vez determinado o intervalo de confiança, o próximo passo foi calcular o número necessário de replicações. Inicialmente, realizou-se algumas replicações preliminares (também chamadas de amostra piloto) para obter uma estimativa inicial do desvio padrão da métrica de interesse. Em seguida, utilizou-se a Equação (29) para ajustar o número de replicações necessárias.

$$n^* = \left\lceil n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \right\rceil \quad (29)$$

Onde:

n^* = número ajustado de replicações necessárias para garantir a precisão;

n : número de replicações preliminares (amostra piloto);

h : precisão desejada na simulação, ou seja, o erro máximo aceitável para as estimativas geradas pela simulação;

h^* : precisão observada nas replicações preliminares (amostra piloto).

3.4 Criação de um fator de ajuste para o modelo M/G/c de Teoria das filas

Os resultados das aproximações tradicionais do modelo $M/G/1$ geralmente subestimam ou superestimam os valores dos intervalos de confiança obtidos por meio da simulação discreta, especialmente para sistemas com múltiplos servidores heterogêneos ($M/G/3$).

Para corrigir essa discrepância, foi desenvolvido um fator de ajuste (f) que incorpora a variabilidade nos tempos de serviço e a diferença de capacidade entre os servidores. Este fator foi aplicado às equações do tempo médio no sistema (W_s) e na fila (W_q) para obter estimativas mais alinhadas aos resultados simulados. Primeiramente, foi necessário os seguintes dados de entrada:

- A taxa média de chegada (λ) de navios no terminal, ou seja, todos os navios que chegam para atracar em um dos 3 berços;
- As taxas médias de serviço para os três servidores (μ_1, μ_2, μ_3), correspondentes aos Berços 208, 209 e 211;
- A variância (σ^2) e o desvio padrão (σ) dos tempos de serviço, obtida por meio de dados históricos.

3.4.1 Normalização das Taxas de Serviço

Para calcular o impacto proporcional de cada servidor no sistema, normalizou-se a capacidade de atendimento dos servidores. A soma das taxas de serviço foi calculada na Equação (30).

$$\mu_{\text{total}} = \sum_{i=1}^c \mu_i \quad (30)$$

Onde:

c : número de servidores no sistema;

μ_i : Taxa de serviço do berço i .

O peso relativo (w_i) de cada servidor foi então determinado como é apresentado na Equação (31).

$$w_i = \frac{\mu_i}{\mu_{\text{total}}} \quad (31)$$

3.4.2 Cálculo do Fator de Ajuste

O fator de ajuste f foi desenvolvido para capturar a heterogeneidade dos servidores. Sua formulação é apresentada na Equação (32).

$$f = \frac{1}{c} \cdot \left(1 + \beta \cdot \sum_{i=1}^c \frac{(1 - w_i)^2}{w_i} \right) \quad (32)$$

onde:

c : número de servidores;

w_i : peso relativo do servidor i ;

β : parâmetro de ajuste inicializado como 1 até σ^2 .

3.4.3 Estimativa do Tempo Médio na Fila

Como ponto de partida, utilizou-se a Equação (33), que é a equação do Tempo médio em fila encontrada na literatura [6][27].

$$W_q = \frac{\lambda^2 \sigma^2 + \rho^2}{2(1 - \rho)} \cdot \frac{1}{\lambda} \quad (33)$$

3.4.4 Cálculo do Tempo Médio no Sistema

Para sistemas com múltiplos servidores heterogêneos, a equação tradicional do M/G/1 não leva em conta a variação entre os servidores e, portanto, subestima os valores observados na simulação. Para corrigir isso, incorporou-se o fator de ajuste (f) ao cálculo.

O cálculo de W_s combina dois componentes principais: o tempo médio na fila (W_q), ajustado pelo fator f , e o tempo médio de atendimento ($\frac{1}{\mu_{\text{média}}}$), que considera a taxa média de serviço dos servidores, conforme Equação (34).

$$W_s = W_q \cdot f + \frac{1}{\mu_{\text{média}}} \quad (34)$$

onde:

W_q : tempo médio na fila, calculado com a fórmula do M/G/1;

f : fator de ajuste que corrige os valores subestimados do modelo para sistemas com múltiplos servidores;

$\frac{1}{\mu_{\text{média}}}$: tempo médio de atendimento, considerando a média das taxas de serviço (μ_i) dos c servidores.

Com o W_s calculado, pode-se recalculer o W_q para o modelo de filas M/G/3 utilizando a Equação (35).

$$W_q = W_s - \frac{1}{\mu_{\text{média}}} \quad (35)$$

O intuito de adicionar o fator de ajuste (f) é corrigir o tempo médio dos navios no sistema e em fila, garantindo que a variação entre os servidores seja devidamente incorporada nos cálculos. Essa abordagem permite que W_s e W_q reflitam tanto a variabilidade dos tempos de serviço quanto a dinâmica de atendimento dos múltiplos servidores. A validação foi realizada comparando os valores estimados com os intervalos de confiança gerados pela simulação discreta. Caso os resultados do modelo ajustado não estivessem alinhados com a simulação, o fator de ajuste foi recalibrado até que as estimativas estivessem dentro dos intervalos esperados.

3.5 Definição da regra da fila com Apoio multicritério à decisão

Foi utilizada a abordagem de Apoio Multicritério à Decisão para selecionar a melhor regra de fila, no contexto da Teoria das Filas, a ser aplicada à atracação dos navios que chegam ao terminal de fertilizantes. Esse terminal abrange os Berços 208, 209 e 211. As etapas desenvolvidas para essa investigação são detalhadas nas subseções a seguir.

3.5.1 Especificação do objetivo

O primeiro passo foi estabelecer o objetivo principal: selecionar a melhor regra de fila, no contexto da teoria das filas, para a atracação dos navios que chegam ao Corredor de Fertilizantes. O objetivo é maximizar a eficiência no uso dos três berços disponíveis (208, 209 e 211). Esse propósito está diretamente relacionado ao problema de alocação de berços, uma questão central na gestão portuária, que analisa quando e onde um navio deve atracar, considerando critérios operacionais e a disponibilidade dos berços.

Ao definir esse objetivo, busca-se estruturar uma base sólida para o processo de atracação, permitindo uma tomada de decisão eficiente na alocação dos navios. Isso assegura uma operação otimizada no terminal, atendendo às necessidades logísticas e operacionais, além de promover uma gestão mais eficiente dos recursos portuários disponíveis.

3.5.2 Definição dos critérios

Foram estabelecidos critérios de desempenho essenciais para mensurar a eficiência e a eficácia das operações portuárias. Esses critérios possibilitam a identificação dos impactos das diferentes estratégias de ordenação, oferecendo suporte fundamentado à tomada de

decisão. A seguir, apresentam-se os quatro critérios utilizados na análise.

I. Nível de serviço (taxa de utilização dos berços): este critério mede o grau de ocupação dos Berços 208, 209 e 211, refletindo a eficiência com que esses recursos são utilizados no porto. Uma taxa de utilização elevada indica que os berços estão sendo amplamente aproveitados, o que pode ser desejável para maximizar a produtividade. No entanto, taxas muito altas podem gerar sobrecarga e aumentar os tempos de espera na fila. Por outro lado, valores muito baixos sugerem subutilização dos recursos portuários, indicando que os berços não estão sendo aproveitados ao máximo, portanto estão disponíveis para receber mais navios;

II. Tempo no Sistema: o tempo no sistema refere-se ao período completo que um navio permanece no porto, incluindo desde sua chegada até a finalização das operações e partida. Esse indicador abrange o tempo de espera na fila e o tempo de operação no berço, sendo fundamental para avaliar o desempenho global do terminal. Reduzir esse tempo significa aumentar a eficiência na utilização dos berços, diminuir custos relacionados à estadia prolongada, como *demurrage*, e oferecer um atendimento mais ágil e eficaz aos clientes. Em contrapartida, tempos elevados podem indicar problemas operacionais, como filas extensas ou baixa produtividade, prejudicando o fluxo logístico e a competitividade do porto;

III. Tempo Médio Atracado: este indicador mensura a duração média que o navio permaneceu fixo em um berço (Equação 26). Trata-se de um critério relevante para avaliar a eficiência das atividades portuárias, sendo desejável que esse tempo seja reduzido para aumentar a capacidade de atendimento do porto. Operações mais ágeis permitem a liberação dos berços com maior rapidez, favorecendo o atendimento de um número maior de navios. Em contrapartida, tempos prolongados podem sinalizar limitações no processo operacional ou desafios relacionados à natureza das cargas manipuladas;

IV. Ocupação da Fila: a ocupação da fila é representada pela porcentagem de tempo em que houve formação de fila para atracação. Este critério reflete a frequência com que o sistema enfrenta congestionamento, sendo um indicador importante para a análise da eficiência do fluxo portuário. Altos valores sugerem que a demanda frequentemente supera a capacidade imediata de atendimento, potencialmente gerando atrasos e insatisfação dos usuários. Em contrapartida, percentuais baixos indicam que a formação de filas é menos frequente, apontando para um sistema mais equilibrado e capaz de atender às necessidades dos navios de forma mais ágil.

3.5.3 Definição das alternativas

Foram selecionadas quatro regras de fila abordadas na literatura, consideradas relevantes para o contexto da atracação de navios no terminal de fertilizantes. Essas regras, descritas a seguir, servem como alternativas no processo de decisão para avaliar e comparar diferentes estratégias de ordenação no sistema portuário.

I. EDD (*Earliest Due Date* – Menor Prazo Final): essa regra prioriza a atracação dos navios com base no prazo final estabelecido em seus contratos, que determina até quando uma embarcação pode permanecer no porto sem incorrer no pagamento de *demurrage* (multa de sobrestadia). No presente estudo, adota-se o critério de dar prioridade aos navios que já estão na fila por sete dias ou mais. Essa abordagem visa minimizar custos operacionais associados ao pagamento de penalidades financeiras, atendendo primeiro os navios com maior urgência contratual. No entanto, pode causar atrasos para navios sem prazos críticos, mesmo que tenham chegado antes, exigindo uma gestão rigorosa dos prazos e tempos de espera;

II. FIFO (*First In, First Out*): conhecida como "primeiro a entrar, primeiro a sair", é a atual regra utilizada no terminal. Ela organiza a fila de atracação de acordo com a ordem de chegada dos navios ao porto. O primeiro navio a entrar na fila é o primeiro a ser alocado a um berço disponível, independentemente de sua carga ou prazo contratual. Essa regra é amplamente valorizada por sua simplicidade e por ser considerada justa, pois atende os navios em sequência cronológica. Contudo, sua aplicação pode ser menos eficiente em contextos que demandam priorização de embarcações com maior urgência ou relevância operacional;

III. *Priority Queue* (fila de prioridade para cargas acima de 20000 toneladas): nesta abordagem, a prioridade de atracação é dada aos navios que transportam cargas com peso igual ou superior a 20.000 toneladas. A regra busca otimizar a movimentação de grandes volumes de carga, promovendo a eficiência das operações logísticas de maior escala. No entanto, navios com cargas menores podem sofrer atrasos consideráveis, e o critério não contempla fatores como o prazo contratual ou o tempo de espera acumulado, o que pode limitar sua eficácia em algumas situações.

IV. SJF (*Shortest Job First* – Trabalho Mais Curto Primeiro): essa regra prioriza navios com cargas menores, inferiores a 20.000 toneladas, para reduzir o tempo médio de espera na fila. Essa abordagem aumenta a rotatividade no uso dos berços e promove maior agilidade operacional. Entretanto, pode resultar em atrasos significativos para

navios com grandes volumes de carga, impactando negativamente operações logísticas de maior escala. Além disso, a regra não considera prazos contratuais ou o tempo de espera já acumulado, o que pode limitar sua adequação em cenários com maior complexidade logística.

3.5.4 Estrutura dos níveis de decisão

Com base no objetivo proposto, nos critérios e nas alternativas a serem avaliadas, foi estruturada a hierarquia do problema em questão, conforme ilustrado na Figura 3.3.

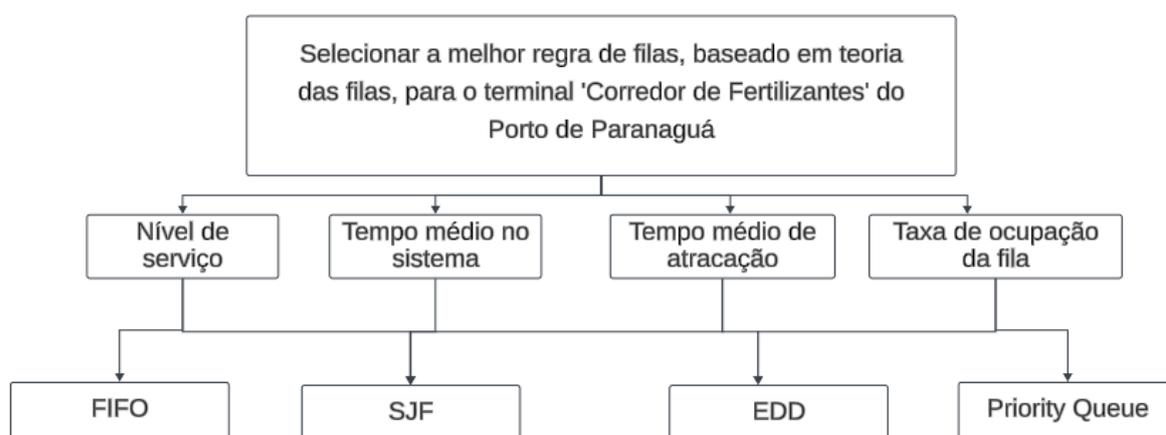


Figura 3.3: Estrutura dos níveis de decisão

Fonte: Elaborado pelo autor

A estrutura apresentada na Figura 3.3 organiza os critérios e as regras de filas utilizados na seleção da melhor política de atendimento para o terminal Corredor de Fertilizantes do Porto de Paranaguá. Cada critério avaliado — nível de serviço, tempo médio no sistema, tempo médio de atracação e taxa de ocupação da fila — está associado a uma regra específica de priorização: FIFO (*First In, First Out*), SJF (*Shortest Job First*), EDD (*Earliest Due Date*) e *Priority Queue*. Essa hierarquia permite uma análise sistemática, integrando a teoria das filas à tomada de decisão, visando identificar a política que melhor equilibra eficiência operacional e satisfação dos usuários.

3.5.5 Comparação paritária (Escala Fundamental de Saaty) e obtenção dos pesos

Para realizar a priorização dos critérios no método AHP, utilizou-se a Escala Fundamental de Saaty, uma escala de comparações paritárias que facilita a avaliação relativa entre pares de critérios. A escala varia de 1 a 9, onde:

- 1 representa igualdade de importância entre os critérios;
- 3 representa uma leve preferência de um critério sobre o outro;
- 5 indica uma forte importância de um critério em relação ao outro;
- 7 indica importância muito forte;
- 9 representa importância extrema;
- 2, 4, 6 e 8 valores intermediários.

A comparação paritária entre os quatro critérios foi realizada e gerou uma matriz de comparação paritária, em que cada elemento a_{ij} representa a importância do critério i em relação ao critério j . Os pesos relativos dos critérios foram definidos por um especialista pesquisador do Centro de Inovação Logística e Infraestrutura Portuária (CILIP-USP), com mais de 30 anos de experiência em transporte marítimo e operações portuárias. A experiência do especialista garantiu que os pesos atribuídos refletissem adequadamente a importância de cada critério. Com a definição desses pesos, foi possível estruturar um modelo que auxilia na seleção da melhor regra de fila, fundamentada na Teoria das Filas, para aplicação à atracação dos navios no terminal de fertilizantes.

3.5.6 Verificação da Consistência da Matriz de Comparação (CR)

Após a elaboração da matriz de comparação paritária, foi realizada a verificação de consistência para assegurar a coerência das preferências atribuídas aos critérios. Este processo é essencial para validar a confiabilidade dos pesos calculados para cada critério no método AHP. A verificação seguiu as etapas descritas a seguir:

- Cálculo do Autovalor Máximo (λ_{\max}): Inicialmente, foi calculado o autovalor máximo da matriz (λ_{\max}), que permite avaliar a consistência interna das comparações. Para isso, multiplicou-se a matriz de comparação pelos pesos dos critérios e, em seguida, dividiu-se cada valor resultante pelo respectivo peso do critério. A média dos valores obtidos corresponde ao autovalor máximo (λ_{\max}).
- Cálculo do Índice de Consistência (IC): Com o valor de λ_{\max} calculado, o Índice de Consistência (IConsistencia) foi determinado pela Equação (36):

$$IConsistencia = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (36)$$

Onde:

n : número de critérios.

- Cálculo da Razão de Consistência (CR): Em seguida, foi calculada a Razão de Consistência (CR) para avaliar a aceitabilidade da consistência da matriz, utilizando a Equação (37):

$$CR = \frac{IC}{IR} \quad (37)$$

Onde:

IR : Índice de Consistência Aleatória, um valor de referência que depende do número de critérios.

- Análise da Consistência: A matriz é considerada consistentemente aceitável se a CR calculada for inferior a 0,10 (ou 10%). Caso contrário, seria necessário ajustar as comparações para melhorar a coerência das preferências entre os critérios.

Ao garantir que a Razão de Consistência estivesse dentro do limite aceitável, assegurou-se que os pesos atribuídos aos critérios refletem de maneira lógica e coerente as prioridades estabelecidas para o objetivo principal do estudo, que é a ordenação dos navios para atracação no terminal.

Capítulo 4

Resultados e Discussão

Como mencionado nos capítulos anteriores, os berços analisados neste estudo são os de números 208, 209 e 211, berços que compõem o terminal denominado 'Corredor de Fertilizantes' pertencentes ao Porto de Paranaguá. A Figura 4.1 ilustra a localização desses berços, destacados em vermelho, no contexto geral do porto.

Figura 4.1: Estrutura dos níveis de decisão



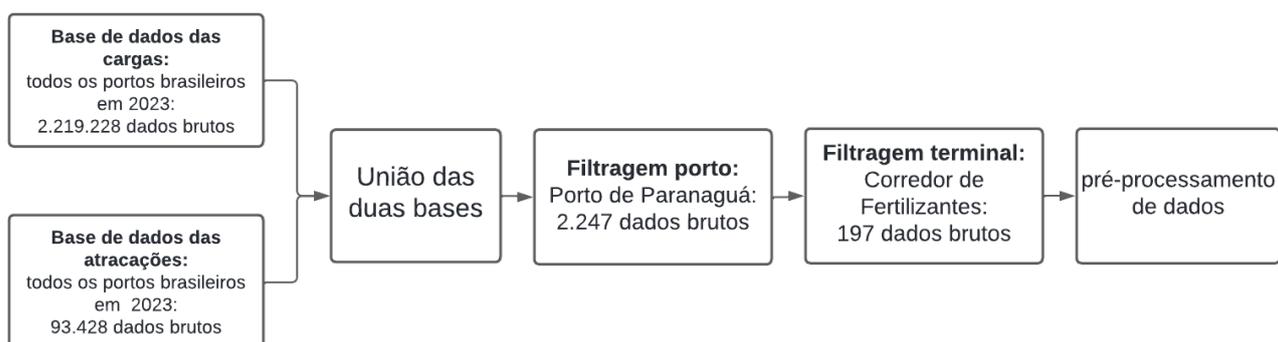
Fonte: Elaborado pelo autor

Os berços são dedicados principalmente à cargas como adubos minerais ou químicos. Esses berços estão espacialmente próximos, o que facilita a operação integrada e o compartilhamento de infraestrutura. Além disso, navios transportando outros tipos de granel sólido que não são fertilizantes ocasionalmente utilizaram esses berços em momentos de menor ocupação, o que impacta a dinâmica operacional do terminal e os tempos médios no sistema.

4.1 Base e Pré-processamento de dados

O conjunto inicial de dados, formado pelas duas bases (Movimentação de cargas e Atracação), proveniente do Estatístico Aquaviário de 2023 da ANTAQ, passou pelo pré-processamento de dados e resultou na quantidade de dados brutos apresentada na Figura 4.2.

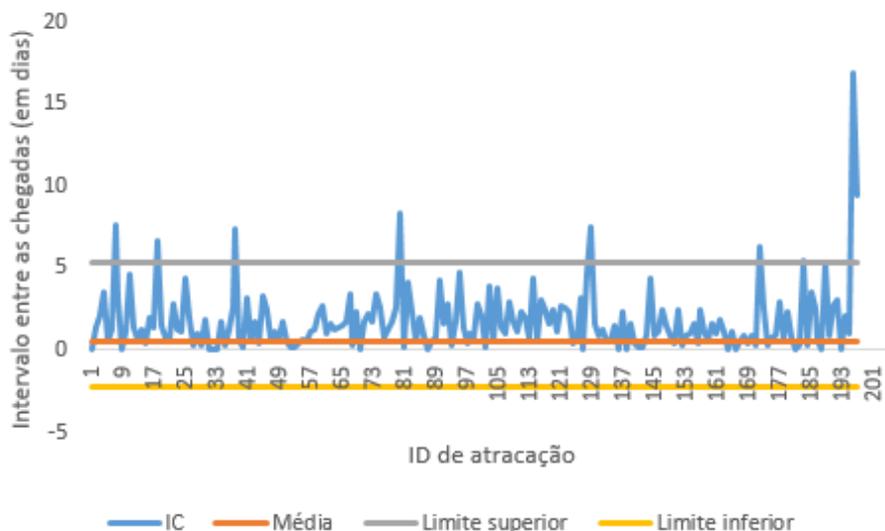
Figura 4.2: Fluxograma do pré-processamento de dados



Fonte: Elaborado pelo autor

A base referente a movimentação de cargas de todos os portos oficiais do Brasil apresentou 2.219.228 dados brutos e a base de dados de todas as atracações resultaram em 93.428 dados brutos. Com o primeiro processo de filtragem, focado no Porto de Paranaguá, identificou-se um total de 2247 IDs de Atracação para o porto, indicando o número de navios que aportaram lá durante o ano mencionado. Foi feita uma nova filtragem, com o objetivo de estudar o Terminal ‘Corredor de fertilizantes’, onde abrange os seguintes berços: Berço 208, Berço 209 e Berço 211 totalizando 197 IDs de Atracação no período estudado.

No processo de tratamento de dados dessa base, primeiramente analisando a variável Intervalo entre as chegadas dos navios, na Figura 4.3 é possível fazer a verificação dos *outliers* dessa variável.

Figura 4.3: Verificação de *outliers* da variável Intervalo entre as chegadas - IC

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi possível verificar 10 *outliers*, acima do limite superior de 5,3 dias de intervalo entre chegadas de navios. Todos esses *outliers*, bem como seu *z-score*, são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: *Outliers* no intervalo entre chegadas dos navios

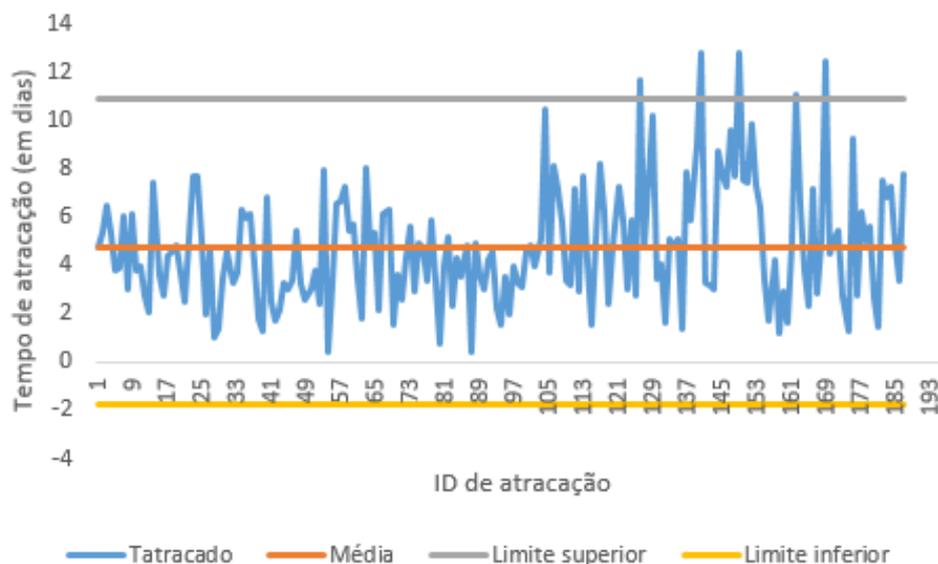
| IDAtracacao | IC | <i>z-score</i> |
|-------------|-------|----------------|
| 1334334 | 7,63 | 3,59 |
| 1334338 | 6,68 | 3,11 |
| 1334333 | 7,45 | 3,50 |
| 1342717 | 8,32 | 3,94 |
| 1345373 | 7,46 | 3,51 |
| 1366665 | 6,36 | 2,95 |
| 1403508 | 5,45 | 2,49 |
| 1412794 | 5,36 | 2,45 |
| 1413204 | 16,93 | 8,29 |
| 1413208 | 9,47 | 4,52 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base na análise anterior (da Figura 4.3), foi definido que o limite superior para o intervalo entre a chegada dos navios (IC) foi de aproximadamente 5,3 dias. Dessa forma, todos os registros da Tabela 4.1 foram considerados *outliers*. Além disso, a análise do *z-score* identificou registros com valores extremos, como o IDAtracação 1413204, que apresentou um *z-score* de 8,29, e o IDAtracação 1413208, com um *z-score* de 4,52. Embora alguns registros não apresentem *z-scores* acima de 3, todos os valores listados na Tabela 4.1 serão excluídos por excederem o limite superior, fazendo com que haja maior consistência nos dados e evitando com que esses valores extremos influenciem negativamente os resultados das análises subsequentes.

A próxima variável analisada foi o Tempo atracado, conforme é apresentado na Figura 4.4.

Figura 4.4: Verificação de *outliers* da variável Tempo de atracação dos navios



Fonte: Elaborado pelo autor

Foram encontrados 5 *outliers*, conforme é apresentado na Tabela 4.2.

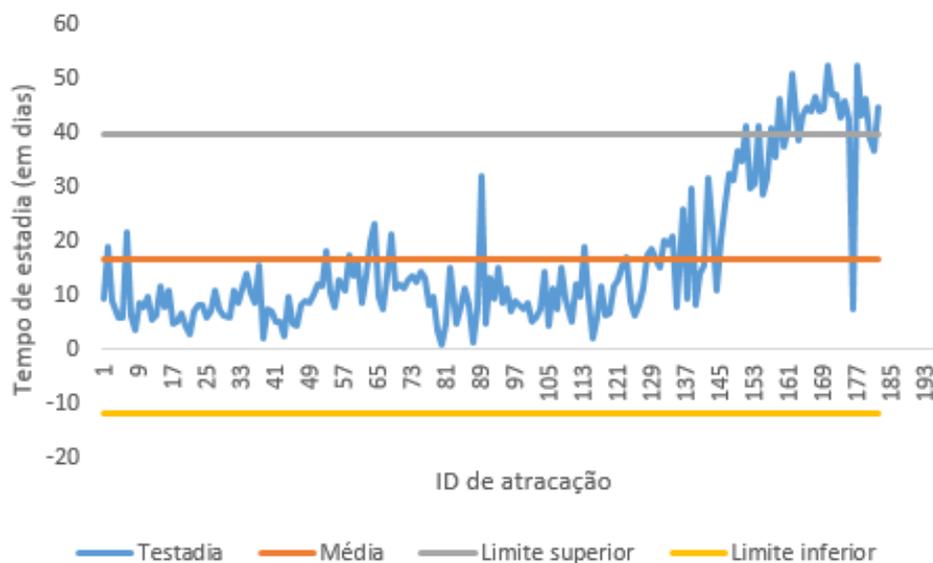
Tabela 4.2: *Outliers* no tempo atracado dos navios

| IDAtracacao | Tempo atracado | Z-score |
|-------------|----------------|---------|
| 1412796 | 11,63 | 2,80 |
| 1342715 | 12,77 | 3,26 |
| 1359136 | 12,81 | 3,28 |
| 1381989 | 11,04 | 2,56 |
| 1384301 | 12,49 | 3,15 |

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 4.2 apresenta os tempos atracados dos navios no porto, em dias, e seus respectivos *z-scores*. Observa-se que todos os registros listados possuem valores de tempo atracado superiores ao limite superior de 10,93 dias, conforme definido na Figura 4.4. Além disso, alguns registros possuem *z-scores* acima de 3, reforçando sua caracterização como *outliers*. Todos esses *outliers* foram removidos da base de dados.

A Figura 4.5 representa a variável Tempo de Estadia.

Figura 4.5: Verificação de *outliers* da variável Tempo de estadia

Fonte: Elaborado pelo autor

É possível verificar que a maioria dos navios que chegaram no fim do ano tiveram seus tempos de estadia maiores e acima do limite superior de 39,7 dias. Esses navios que excederam o limite superior estão apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: *Outliers* no tempo de estadia dos navios

| IDAtracacao | Tempo de Estadia | Z-score |
|-------------|------------------|---------|
| 1381988 | 40,72 | 1,81 |
| 1382136 | 46,04 | 2,21 |
| 1403504 | 40,67 | 1,81 |
| 1333089 | 50,83 | 2,57 |
| 1387330 | 43,23 | 2,00 |
| 1412799 | 44,57 | 2,10 |
| 1412802 | 44,00 | 2,06 |
| 1403779 | 46,42 | 2,24 |
| 1387324 | 43,78 | 2,04 |
| 1367161 | 44,32 | 2,08 |
| 1387331 | 52,53 | 2,70 |
| 1387333 | 46,95 | 2,28 |
| 1403503 | 47,03 | 2,29 |
| 1403509 | 42,67 | 1,96 |
| 1412792 | 45,77 | 2,19 |
| 1387321 | 42,39 | 1,94 |
| 1412793 | 52,19 | 2,67 |
| 1389066 | 43,07 | 1,99 |
| 1412797 | 46,11 | 2,22 |
| 1413203 | 44,75 | 2,12 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Mesmo que nenhum dos registros tenha apresentado z -score acima de 3, todos os registros da Tabela 4.3 foram retirados por apresentarem valor acima do limite superior estabelecido na Figura 4.5. Os dados eliminados pertencem, em sua maioria, aos últimos meses do ano, período que apresenta um comportamento possivelmente sazonal. Embora esses dados tenham sido excluídos para fins da presente análise, é importante ressaltar que tais variações poderiam ser exploradas em análises futuras, agrupando os dados por períodos específicos do ano.

Com a remoção de 10 *outliers* relacionados à variável Intervalo entre as chegadas dos navios, 5 *outliers* da variável Tempo dos navios atracados e 20 *outliers* da variável Tempo de estadia, a base de dados após o pré-processamento de dados passou a conter um total de 162 registros de atracação.

4.2 Estatística Descritiva

Após o tratamento de dados, foi feita a estatística descritiva, apresentada na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Estatística descritiva das variáveis analisadas (em dias)

| Variáveis (em dias) | Mínimo | Máximo | Média | Desvio padrão |
|--------------------------------|--------|--------|-------|---------------|
| Intervalo entre as chegadas | 0,00 | 4,78 | 1,49 | 1,17 |
| Tempo de atracação | 0,40 | 10,44 | 4,50 | 2,12 |
| Tempo de estadia | 0,99 | 41,33 | 12,94 | 9,08 |
| Tempo de espera para atracação | 0,09 | 36,96 | 8,44 | 8,61 |
| Tempo de operação | 0,20 | 10,23 | 4,25 | 2,12 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nos dados da Tabela 4.4, observa-se que o intervalo entre as chegadas dos navios apresenta uma média de 1,49 dias, com uma dispersão relativamente alta, evidenciada pelo desvio padrão de 1,17, indicando uma variabilidade significativa nos intervalos. O tempo médio que os navios permanecem atracados é de aproximadamente 4,50 dias, com uma variação moderada representada por um desvio padrão de 2,12. Já o tempo de estadia médio é de 12,94 dias, sugerindo uma permanência significativa dos navios no porto, com uma dispersão considerável, evidenciada pelo desvio padrão de 9,08.

Além disso, o tempo médio de espera para atracação é de 8,44 dias, com uma alta variabilidade, conforme indicado pelo desvio padrão de 8,61, sugerindo possíveis desafios na organização da fila de atracação. Por fim, o tempo médio de operação é de 4,25 dias, com uma variação semelhante à do tempo atracado, reforçando a consistência desse processo em relação aos demais indicadores analisados.

Nas Tabelas 4.5, 4.6 e 4.7 foram detalhadas as estatísticas descritivas de cada berço individualmente, com o objetivo de analisar o comportamento operacional de cada um.

Tabela 4.5: Estatísticas descritivas - Berço 208

| Variáveis (em dias) | Mínimo | Máximo | Média | Desvio padrão |
|--------------------------------|--------|--------|-------|---------------|
| Intervalo entre as chegadas | 0,00 | 3,88 | 1,19 | 0,92 |
| Tempo de atracação | 0,41 | 8,15 | 4,11 | 1,98 |
| Tempo de estadia | 1,32 | 38,46 | 14,02 | 10,26 |
| Tempo de espera para atracação | 0,09 | 35,60 | 9,91 | 9,64 |
| Tempo de Operação | 0,20 | 7,99 | 3,87 | 2,01 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.6: Estatísticas descritivas - Berço 209

| Variáveis (em dias) | Mínimo | Máximo | Média | Desvio padrão |
|--------------------------------|--------|--------|-------|---------------|
| Intervalo entre as chegadas | 0,00 | 4,63 | 1,45 | 1,20 |
| Tempo de atracação | 1,01 | 9,87 | 4,90 | 1,98 |
| Tempo de estadia | 2,38 | 41,33 | 12,13 | 7,92 |
| Tempo de espera para atracação | 0,19 | 36,96 | 7,24 | 7,47 |
| Tempo de Operação | 0,91 | 9,55 | 4,62 | 1,95 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.7: Estatísticas descritivas - Berço 211

| Variáveis (em dias) | Mínimo | Máximo | Média | Desvio padrão |
|--------------------------------|--------|--------|-------|---------------|
| Intervalo entre as chegadas | 0,00 | 4,78 | 1,78 | 1,26 |
| Tempo de atracação | 0,40 | 10,44 | 4,46 | 2,34 |
| Tempo de estadia | 0,99 | 38,79 | 12,81 | 9,12 |
| Tempo de espera para atracação | 0,10 | 33,85 | 8,34 | 8,66 |
| Tempo de Operação | 0,27 | 10,23 | 4,23 | 2,34 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nas estatísticas descritivas dos três berços (208, 209 e 211), é possível identificar algumas diferenças operacionais importantes. O Berço 208 apresenta o menor valor médio de intervalo entre as chegadas dos navios, com 1,19 dias, seguido pelo Berço 209 com 1,45 dias e o berço 211 com a maior média de 1,78 dias. Embora o Berço 208 tenha um intervalo entre as chegadas mais curto, ele também possui o maior valor médio de tempo de estadia, com 14,02 dias, indicando que os navios tendem a permanecer por mais tempo nesse berço, com uma alta variabilidade, já que o desvio padrão é de 10,26 dias. Em comparação, o Berço 211 tem um tempo médio de estadia de 12,81 dias e o Berço 209 o mais baixo, com 12,13 dias, o que sugere que, em média, os navios permanecem menos tempo no Berço 209.

Em relação ao tempo de atracação, o Berço 209 apresenta o maior valor médio, com 4,90 dias, seguido pelo Berço 211 com 4,46 dias e o Berço 208 com 4,11 dias. Apesar de o Berço 208 ter o menor tempo médio de atracação, ele possui maior variabilidade no tempo de operação, com um desvio padrão de 2,01, comparado ao Berço 211 que tem o maior desvio padrão de 2,34, indicando maior dispersão no tempo de operação. O Berço 209, por sua vez, apresenta tempos de operação mais consistentes, com uma média de 4,62 dias e um desvio padrão de 1,95.

Quanto ao tempo de espera para atracação, o Berço 208 também se destaca, com um valor médio de 9,91 dias e um desvio padrão de 9,64, sugerindo maior incerteza no tempo de espera. O Berço 211 tem uma média de 8,34 dias e o Berço 209 apresenta o menor valor médio de tempo de espera para atracação, com 7,24 dias, e também a menor

variabilidade, com um desvio padrão de 7,47.

Em suma, o Berço 208 tem tempos médios de operação e estadia mais altos, mas com grande variabilidade, o que pode indicar maior instabilidade nas operações. O Berço 209 tem tempos mais consistentes e mais baixos em termos de tempo de espera e estadia, sugerindo operações mais ágeis e eficientes. Já o Berço 211 apresenta um desempenho intermediário, com variabilidade maior em comparação ao Berço 209, mas menor que o Berço 208, o que pode implicar a necessidade de ajustes operacionais para melhorar a consistência. Essas diferenças refletem as características operacionais de cada berço e podem influenciar as escolhas para otimizar a alocação de navios.

4.3 Teoria das filas

4.3.1 Definição dos modelos de filas

Para iniciar a análise do comportamento do sistema de filas estudado, primeiramente foi verificado as distribuições de probabilidade das variáveis Intervalo entre as chegadas e Tempo de serviço dos navios. A Tabela 4.8 apresenta as distribuições probabilísticas que não foram rejeitadas para a variável Intervalo entre as chegadas dos navios.

Tabela 4.8: Distribuições probabilísticas da variável 'Intervalo entre as chegadas'

| Distribuição | Classificação | Aceitação |
|-----------------------|----------------------|------------------|
| Beta | 100 | Não rejeitada |
| Gama | 84 | Não rejeitada |
| <i>Pearson 6</i> | 77,6 | Não rejeitada |
| <i>Weibull</i> | 69,5 | Não rejeitada |
| Exponencial | 25,7 | Não rejeitada |
| <i>Chi Square</i> | 10,1 | Não rejeitada |
| Log Logística | 5,84 | Não rejeitada |
| Log Normal | 0,814 | Não rejeitada |
| Uniforme | 0 | Rejeitada |
| <i>Johnson SB</i> | 0 | Rejeitada |
| Triangular | 0 | Rejeitada |
| Inversa Weibull | 0 | Rejeitada |
| Inversa Gaussiana | 0 | Rejeitada |
| <i>Power-Function</i> | 0 | Rejeitada |
| <i>Rayleigh</i> | 0 | Rejeitada |
| Pearson | 0 | Rejeitada |
| Pareto | Não cabe | Rejeitada |
| <i>Erlang</i> | Não cabe | Rejeitada |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nos resultados da Tabela 4.8, foi possível verificar que 8 das distribuições não foram rejeitadas para o intervalo entre as chegadas das embarcações em estudo, essas

distribuições são: Beta, Gama, Pearson 6, *Weibull*, Exponencial, *Chi Square*, Log Logística e Log Normal.

A Tabela 4.9 apresenta o teste de aderência referente a essas distribuições.

Tabela 4.9: Testes de aderência - variável 'Intervalo entre as chegadas'

| <i>Distribuições</i> | <i>Kolmogorov-Smirnov</i> |
|----------------------|---------------------------|
| Beta | 0,857 |
| Gama | 0,734 |
| <i>Pearson 6</i> | 0,746 |
| <i>Weibull</i> | 0,686 |
| Exponencial | 0,76 |
| <i>Chi Square</i> | 0,231 |
| Log logística | 0,307 |
| Log normal | 0,21 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Entre as distribuições de probabilidade listadas na Tabela 4.9, foi escolhida a distribuição Exponencial para representar a variável 'Intervalo entre as chegadas' apesar de não ter sido a que melhor se ajustou entre as distribuições. Essa escolha foi fundamentada devido sua simplicidade e eficácia na modelagem de sistemas de filas. A distribuição Exponencial é frequentemente utilizada porque descreve bem o tempo entre eventos que ocorrem de maneira independente e com uma taxa constante, como essas chegadas de navios no porto. Além disso, essa distribuição facilita os cálculos matemáticos e simplifica a análise do sistema, o que é vantajoso em cenários onde o modelo não exige uma abordagem mais complexa ou onde a precisão oferecida por distribuições mais sofisticadas não se justifica.

A Tabela 4.10 apresenta quais foram as distribuições probabilísticas não rejeitadas e rejeitadas da variável 'Tempo em atendimento' referente ao tempo em atendimento dos três berços.

Tabela 4.10: Distribuições probabilísticas - variável 'Tempo em atendimento'

| Distribuições | Berço 208 | Berço 209 | Berço 211 |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Gama | Não rejeitada | Não rejeitada | Não rejeitada |
| Pearson | Não rejeitada | Não rejeitada | Não rejeitada |
| Beta | Não rejeitada | Não rejeitada | Não rejeitada |
| <i>Rayleigh</i> | Não rejeitada | Não rejeitada | Não rejeitada |
| <i>Erlang</i> | Não rejeitada | Não rejeitada | Não rejeitada |
| <i>Weibull</i> | Não rejeitada | Não rejeitada | Não rejeitada |
| Log logística | Não rejeitada | Não rejeitada | Não rejeitada |
| <i>Chi Square</i> | Não rejeitada | Não rejeitada | Não rejeitada |
| Log normal | Não rejeitada | Rejeitada | Não rejeitada |
| Triangular | Não rejeitada | Rejeitada | Não rejeitada |
| Inversa Gaussiana | Não rejeitada | Rejeitada | Não rejeitada |
| Pearson | Rejeitada | Rejeitada | Rejeitada |
| Inversa <i>Weibull</i> | Rejeitada | Rejeitada | Rejeitada |
| Exponencial | Rejeitada | Rejeitada | Rejeitada |
| Uniforme | Rejeitada | Rejeitada | Rejeitada |
| <i>Power-Function</i> | Rejeitada | Rejeitada | Rejeitada |
| Pareto | Rejeitada | Rejeitada | Rejeitada |
| <i>Johnson SB</i> | Rejeitada | Rejeitada | Rejeitada |

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 4.10 apresentada mostra os resultados do ajuste de diferentes distribuições probabilísticas para os tempos de atendimento dos navios nos três berços (208, 209 e 211). Observa-se que as distribuições Gama, Pearson, Beta, *Rayleigh*, Erlang, *Weibull*, Log logística e *Chi Square* não foram rejeitadas em nenhum dos berços, indicando que elas podem ser boas candidatas para modelar o comportamento dos tempos de atendimento em todos os berços. Entre as distribuições com resultados discrepantes, destaca-se a Log Normal, que foi rejeitada apenas no Berço 209, sugerindo uma possível variação no padrão de atendimento nesse berço específico em comparação com os outros. Além disso, distribuições como a Inversa Gaussiana e a Triangular também apresentam rejeição apenas no berço 209, o que reforça essa diferença. Por outro lado, as distribuições *Pearson*, Inversa *Weibull*, Exponencial, Uniforme, *Power-Function*, Pareto e *Johnson SB* foram consistentemente rejeitadas em todos os berços, indicando que elas não são adequadas para representar os tempos de atendimento dos navios. Esses resultados indicam que há padrões consistentes entre os berços, mas com algumas variações específicas no Berço 209, que podem ser exploradas para otimização do processo de atracação.

As Tabelas 4.11, 4.12 e 4.13 mostram os Testes de aderência para as distribuições de probabilidade do tempo em atendimento (tempo atracado) dos berços 208, 209 e 211, respectivamente.

Tabela 4.11: Testes de aderência - variável Tempo em atendimento do Berço 208

| Distribuições | ks stat | valor p |
|--------------------|---------|---------|
| Beta | 0,0613 | 0,97 |
| <i>Chi Squared</i> | 0,0989 | 0,577 |
| <i>Erlang</i> | 0,0646 | 0,953 |
| Gama | 0,0536 | 0,992 |
| Inversa Gaussiana | 0,124 | 0,301 |
| Log Logística | 0,0634 | 0,959 |
| Log Normal | 0,0865 | 0,736 |
| <i>Pearson</i> | 0,147 | 0,142 |
| <i>Rayleigh</i> | 0,0672 | 0,937 |
| Triangular | 0,154 | 0,11 |
| <i>Weibull</i> | 0,0712 | 0,905 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.12: Testes de aderência - variável Tempo em atendimento do Berço 209

| Distribuições | ks stat | Valor p |
|--------------------|---------|---------|
| Beta | 0,0962 | 0,601 |
| <i>Chi Squared</i> | 0,121 | 0,313 |
| <i>Erlang</i> | 0,133 | 0,217 |
| Gama | 0,128 | 0,256 |
| Log Logística | 0,108 | 0,45 |
| <i>Pearson</i> | 0,13 | 0,244 |
| <i>Rayleigh</i> | 0,0856 | 0,739 |
| <i>Weibull</i> | 0,0976 | 0,583 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.13: Testes de aderência - variável Tempo em atendimento do Berço 211

| Distribuições | ks stat | valor p |
|--------------------|---------|---------|
| Beta | 0,0631 | 0,934 |
| <i>Chi Squared</i> | 0,0692 | 0,878 |
| <i>Erlang</i> | 0,0534 | 0,984 |
| Gama | 0,0485 | 0,995 |
| Inversa Gaussiana | 0,122 | 0,242 |
| Log Logística | 0,0574 | 0,969 |
| Log Normal | 0,0882 | 0,634 |
| <i>Pearson</i> | 0,139 | 0,13 |
| <i>Rayleigh</i> | 0,0591 | 0,96 |
| Triangular | 0,0782 | 0,77 |
| <i>Weibull</i> | 0,0576 | 0,968 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nos resultados, constatou-se que o tempo de atendimento dos navios não segue uma distribuição exponencial. Isso levou à exclusão do modelo de filas $M/M/c$, que é frequentemente utilizado em Teoria das Filas por sua facilidade de implementação. Apesar disso, os resultados indicam que dois tipos de modelos de filas podem ser adequados para representar os dados deste estudo: o modelo $M/G/c$, onde o tempo de atendimento pode seguir qualquer distribuição genérica, não sendo imposta restrição para a mesma, apenas é necessário estimar a média e a variância da distribuição; e o modelo $M/E_k/c$, onde o tempo de atendimento segue uma distribuição *Erlang*, sendo esse um modelo intermediário entre o $M/D/c$ e o $M/M/c$.

Portanto, levando em consideração a Notação de *Kendal-Lee*, o presente trabalho pode ser definido por duas notações: $M/G/3/GD/\infty/\infty$ e $M/E_k/3/GD/\infty/\infty$. O processo de chegada com distribuição exponencial, o processo de atendimento seguindo uma distribuição Geral (ou genérica) ou de *Erlang*, 3 servidores, a disciplina da fila é inicialmente definida como genérica (GD), mas será especificada posteriormente, e tanto o tamanho da fila quanto a população são considerados infinitos.

4.3.2 Cálculos das métricas iniciais de Teoria das filas

Na Tabela 4.14 é apresentado os resultados das métricas essenciais para dar partida ao estudo de Teoria das filas, utilizando as Equações 4, 5, 6, 7 e 8.

Tabela 4.14: Principais métricas de teoria das filas - Global

| Parâmetro | Valor |
|------------|-------|
| λ | 0,54 |
| μ | 0,23 |
| ρ | 0,80 |
| σ^2 | 5,09 |
| σ | 2,25 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com a aplicação das métricas de Teoria das filas, observou-se um nível de utilização de $\rho = 0,80$, que indica que o sistema está bastante ocupado, apesar de não estar saturado. Em um sistema de filas, esse valor é considerado relativamente alto, sugerindo que a fila está próxima de se tornar instável ($\rho \geq 1$), principalmente se ocorrerem variações na taxa de chegadas ou na taxa de serviço. Por isso, é importante levar em consideração que esse cenário pode implicar um risco de congestionamento, pois qualquer aumento na taxa de chegadas ou redução na taxa de serviço pode sobrecarregar o sistema, resultando em

tempos de espera mais longos e possivelmente em uma fila infinita. Devido à proximidade do sistema à sua capacidade máxima, torna-se necessário monitorá-lo continuamente para evitar a saturação e garantir que o serviço permaneça eficiente, mantendo os tempos de espera em níveis aceitáveis.

Quando se trata de um modelo de filas com distribuições de serviço que não seguem a distribuição exponencial com mais de um servidor, os cálculos geralmente não são triviais e apresentam elevadas margens de erro, sendo muitas vezes melhor escolher o uso de aproximações e validação por simulação. No presente trabalho foi utilizada uma abordagem diferente para os cálculos desses modelos, que consiste em dividir os modelos $M/G/3$ e $M/E_k/3$ em 3 subsistemas de modelo $M/G/1$ e $M/E_k/1$, respectivamente.

Nesta abordagem, cada subsistema é representado por um berço, conforme é apresentado na Tabela 4.15.

Tabela 4.15: Médias do intervalo entre as chegadas e do tempo atracado dos subsistemas

| Variáveis | 208 | 209 | 211 |
|--|------|------|------|
| Média intervalo entre chegadas (em dias) | 1,75 | 1,47 | 2,21 |
| Média tempo em atendimento (em dias) | 4,41 | 5,0 | 4,44 |

Fonte: Elaborado pelo autor

A média do intervalo entre chegadas no Berço 209 (1,47 dias) é a mais baixa, indicando um fluxo mais constante e frequente de navios. No entanto, o tempo médio de atendimento também é mais elevado nesse berço (5 dias), sugerindo que se houver o aumento no número de chegadas neste berço, pode haver uma sobrecarga na capacidade do mesmo, resultando em tempos de espera mais longos. Por outro lado, os Berços 208 e 211 mostram tempos de atendimento semelhantes (4,41 e 4,44, respectivamente) e intervalos entre chegadas mais longos (1,75 e 2,21), o que pode indicar uma operação mais equilibrada e eficiente durante esses períodos.

Com isso, utilizando as Equações 4, 5, 6 e 8 e os tempos em dias, pôde-se calcular as principais métricas de teoria das filas para cada um dos subsistemas, conforme é apresentado na Tabela 4.16.

Tabela 4.16: Principais métricas de teoria das filas para os subsistemas

| | Berço 208 | Berço 209 | Berço 211 |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| λ | 0,18 | 0,18 | 0,18 |
| μ | 0,23 | 0,20 | 0,23 |
| ρ | 0,81 | 0,91 | 0,82 |
| σ^2 (variância) | 5,12 | 4,50 | 5,59 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados mostram uma taxa média de chegadas constante, já que existe apenas

uma fila para os três berços. Apesar dessa métrica ser constante, as taxas de atendimento variam entre os berços, impactando a taxa de utilização e a variância dos tempos de atendimento. O Berço 209, com a maior taxa de utilização e a menor taxa de atendimento, está mais sobrecarregado e apresenta maiores taxas médias de espera. Em contraste, os Berços 208 e 211, com taxas de utilização mais baixas e taxas de atendimento relativamente altas, operam com uma capacidade mais eficiente. A análise sugere que o Berço 209 pode necessitar de uma revisão na capacidade de atendimento ou de melhorias operacionais para equilibrar a carga de trabalho e reduzir os tempos de espera.

4.3.3 Medidas de desempenho modelo M/G/3

Em posse dessas métricas, foi possível então calcular as medidas de desempenho para cada um desses subsistemas levando em consideração que o Tempo em atendimento seguiu uma distribuição genérica (Tabela 4.17).

Tabela 4.17: Medidas de desempenho dos subsistemas

| | Berço 208 | Berço 209 | Berço 211 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Tempo médio de navios em fila (W_q) – em dias | 1,03 | 1,3 | 1,1 |
| Tempo médio de navios no sistema (W_s) – em dias | 5,45 | 6,24 | 5,51 |

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 4.17 apresenta as medidas de desempenho dos subsistemas 208, 209 e 211, considerando o tempo médio de navios em fila (W_q) e no sistema (W_s), ambos em dias. O subsistema 209 registra os maiores valores, com 1,3 dias em fila e 6,24 dias no sistema, sugerindo maior congestionamento ou menor eficiência operacional. Em contrapartida, o subsistema 208 apresenta os menores tempos (1,03 dias em fila e 5,45 dias no sistema), indicando maior eficiência relativa. Já o subsistema 211 possui valores intermediários. As diferenças entre W_q e W_s evidenciam que o tempo em atendimento contribui significativamente para o desempenho geral, sendo a eficiência do subsistema 208 uma referência para melhorias nos demais.

Como o presente trabalho se trata de um modelo com 3 servidores e não com 1, foi necessário fazer o cálculo das medidas de desempenho global, ou seja, levando em consideração o sistema principal, com 3 servidores, como é apresentado na Tabela 4.18.

A Tabela 4.18 apresenta as medidas de desempenho global, considerando o tempo médio de navios em fila (W_q) e no sistema (W_s), ambos em dias. Os valores consolidados mostram que o tempo médio de espera em fila é de 1,13 dias, enquanto o tempo médio total no sistema, que inclui a espera e o atendimento, é de 5,73 dias. Esses resultados fornecem

Tabela 4.18: Medidas de desempenho global - M/G/3

| Medidas de desempenho | Valor |
|--|-------|
| Tempo médio de navios em fila (W_q) – em dias | 1,13 |
| Tempo médio de navios no sistema (W_s) – em dias | 5,73 |

Fonte: Elaborado pelo autor

uma visão geral do desempenho operacional do sistema, indicando que a maior parte do tempo dos navios no sistema é dedicada às atividades de serviço, com uma contribuição menor da espera em fila. Esses dados podem ser utilizados como referência para avaliar a eficiência global do sistema e identificar oportunidades de otimização, especialmente no que se refere à redução de tempos em fila e no sistema.

4.3.4 Medidas de desempenho modelo M/E_k/3

A Tabela 4.19 apresenta os valores utilizados no cálculo do parâmetro k , utilizando as Equações 1, 2, 5 e 7.

Tabela 4.19: Valores para o cálculo do parâmetro k

| Parâmetro | Valor |
|---------------------------------------|-------|
| Média dos tempos de serviço (μ) | 4,56 |
| Desvio padrão (σ) | 2,28 |
| Coefficiente de variação (C_v) | 0,50 |
| Quadrado do coeficiente (C_v^2) | 0,25 |
| Número de fases (k) | 3,97 |

Fonte: Elaborado pelo autor

O valor do parâmetro k foi calculado como 3,9710 e, considerando que k deve ser um número inteiro no modelo M/E_k/3, foi arredondado para $k = 4$. Este valor indica que o tempo de atendimento segue uma distribuição *Erlang* composta por 4 fases.

As medidas de desempenho foram calculadas de maneira analoga ao modelo anterior (M/G/3), criando subsistemas. Os resultados das medidas de desempenho para esse modelo são apresentadas na Tabela 4.20.

Tabela 4.20: Medidas de desempenho para diferentes cenários

| Medidas de Desempenho | Berço 208 | Berço 209 | Berço 211 |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Tempo médio na fila (W_q) – em dias | 1,02 | 1,35 | 1,04 |
| Tempo médio no sistema (W_s) – em dias | 5,44 | 6,31 | 5,48 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Levando em consideração o terminal como um todo, os resultados são apresentados na Tabela 4.21.

Tabela 4.21: Medidas de desempenho global - M/E_k/3

| Medidas de desempenho | Valor |
|--|-------|
| Tempo médio de navios em fila (W_q) – em dias | 1,14 |
| Tempo médio de navios no sistema (W_s) – em dias | 5,74 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados apresentados na Tabela 4.21 referem-se às medidas de desempenho global do sistema, considerando o tempo médio de navios em fila (W_q) e no sistema (W_s), ambos expressos em dias, utilizando o modelo M/E₄/3. Os valores obtidos mostram que o tempo médio de espera na fila é de 1,14 dias, enquanto o tempo médio total no sistema, que inclui a espera e o tempo de serviço, é de 5,74 dias. Esses resultados indicam que, embora o tempo de espera na fila ainda tenha um impacto relevante, a maior parte do tempo dos navios no sistema é dedicada às atividades de serviço.

Comparando os resultados da Tabela 4.21 com os da Tabela 4.18, que se referem ao modelo M/G/3, observa-se uma pequena diferença nos valores encontrados. No modelo M/G/3, o tempo médio de espera na fila (W_q) foi de 1,13 dias, enquanto no modelo M/E_k/3 ele aumentou ligeiramente para 1,14 dias. Já o tempo médio no sistema (W_s) passou de 5,73 dias no modelo M/G/3 para 5,74 dias no modelo M/E_k/3.

A principal diferença entre os dois modelos está na forma como o tempo de atendimento é tratado. No modelo M/G/3, a distribuição do tempo de serviço é genérica, ou seja, não assume nenhum formato específico e permite representar sistemas mais flexíveis, com variações maiores entre os tempos de atendimento. Já no modelo M/E_k/3, o tempo de atendimento segue uma distribuição Erlang, que é composta por k fases. Cada fase pode ser entendida como uma etapa do processo de atendimento, e o número k indica quantas etapas independentes e sequenciais existem no processo.

Por exemplo, no caso do modelo M/E₄/3, utilizado nesta análise, o tempo de atendimento foi dividido em 4 fases. Isso significa que, ao invés de considerar o tempo de atendimento como um único valor, ele é tratado como a soma de 4 etapas menores, cada uma com um tempo próprio. Essa divisão faz com que a variabilidade do tempo de serviço seja menor do que em uma distribuição genérica, pois o tempo total de atendimento passa a ser composto por várias etapas individuais, suavizando as oscilações extremas.

Essa característica do modelo Erlang traz maior regularidade ao processo de atendimento, mas pode, em alguns casos, resultar em pequenas mudanças no tempo médio de espera na fila, como observado na comparação entre os modelos. A divisão em fases torna o comportamento do tempo de atendimento mais previsível e controlado, o que é útil

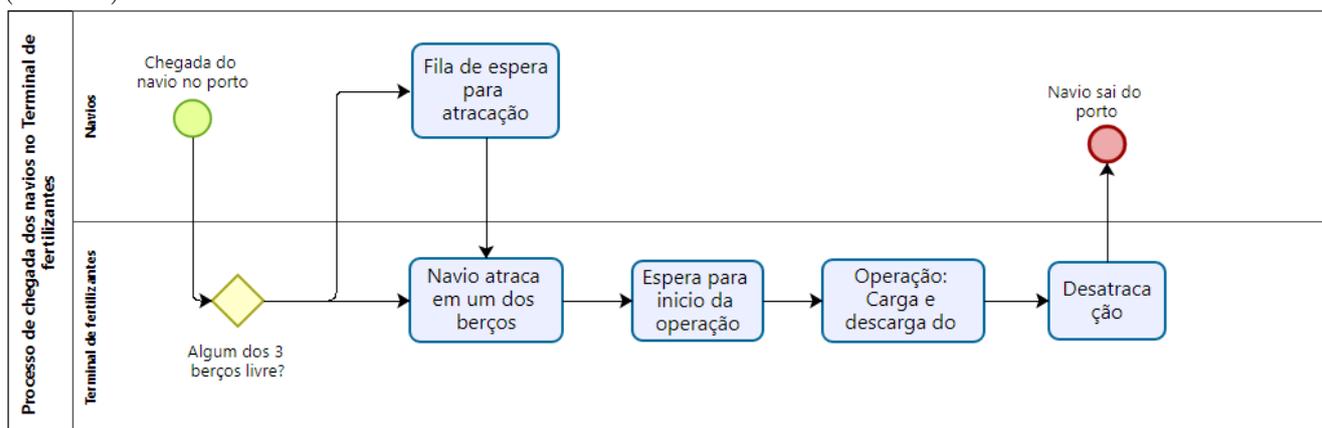
para representar processos operacionais em que as atividades têm uma sequência definida e etapas bem delimitadas.

Apesar dessas diferenças, os resultados numéricos mostram que ambos os modelos produzem valores bastante próximos. A escolha entre eles dependerá do nível de precisão desejado e da necessidade de representar com mais detalhes o processo de atendimento.

4.4 Simulação

Na Figura 4.6, é apresentado o modelo conceitual feito no *Bizagi Modeler*, utilizando a notação *Business Process Model and Notation* (BPMN).

Figura 4.6: Modelo conceitual utilizando a notação *Business Process Model and Notation* (BPMN)



Fonte: Elaborado pelo autor

O modelo conceitual apresentado na Figura 4.6 descreve as etapas do processo de chegada e movimentação dos navios no Terminal de Fertilizantes. Esse fluxo ilustra as atividades principais desde a chegada de um navio até sua saída do porto, sendo utilizado como base para a construção do modelo computacional de simulação.

O processo inicia-se com a chegada do navio ao porto, momento em que o sistema verifica se há berços disponíveis para atracação. Caso não haja disponibilidade, o navio é direcionado para a fila de espera para atracação. Quando um dos berços fica livre, o navio segue para a atracação em um dos berços.

Após a atracação, o navio passa pela espera até o início da operação de carga e descarga, etapa que ocorre após a mobilização de recursos e equipamentos necessários bem como a liberação para início dessa operação. A operação de carga e descarga nesse terminal abrange principalmente o manuseio de fertilizantes, mas também inclui outros

tipos de cargas. Essas operações são realizadas com o auxílio de guindastes, esteiras e outros equipamentos especializados. Após a conclusão dessa operação, o navio segue para a desatracação, etapa que envolve a liberação do navio do berço, que inclui a retirada das amarras que o mantêm fixo, a remoção de equipamentos conectados ao navio e a coordenação com a equipe de manobras e rebocadores (se necessário). Essa etapa deve ser realizada de forma eficiente e segura para liberar o berço para o próximo navio e permitir que o navio desatracado siga seu trajeto para o destino subsequente.

No contexto portuário, o tempo total de atracação inclui as etapas de espera para início da operação, a operação de carga e descarga, e a desatracação. Devido às características dos navios, é amplamente utilizado um *layout* posicional, no qual o navio permanece atracado no berço durante todo o processo, enquanto os equipamentos e recursos necessários se deslocam até ele. Essa abordagem minimiza os riscos e custos associados ao deslocamento do navio dentro do porto e facilita o manuseio seguro das cargas. No entanto, a eficiência do *layout* posicional está diretamente ligada à rapidez na disponibilização dos recursos e à execução das operações, fatores que influenciam o tempo total de permanência no berço.

Para dar início ao processo de simulação, foi realizada uma análise inicial com uma amostra piloto composta por 10 replicações. Essa etapa preliminar permitiu calcular variáveis importantes como o tempo médio de estadia dos navios no porto, o tempo médio em fila e o tempo médio em operação. Os resultados dessas replicações estão organizados na Tabela 4.22 e forneceram uma base para a continuação do processo de simulação e análise do desempenho do sistema.

Tabela 4.22: Resultados das replicações da amostra piloto

| Replicação | Tempo médio no sistema | Tempo médio em fila | Tempo médio em operação |
|------------|------------------------|---------------------|-------------------------|
| 1 | 12,32 | 7,95 | 4,37 |
| 2 | 7,98 | 3,61 | 4,37 |
| 3 | 16,14 | 11,67 | 4,47 |
| 4 | 14,90 | 10,35 | 4,47 |
| 5 | 9,73 | 5,21 | 4,55 |
| 6 | 11,85 | 7,33 | 4,52 |
| 7 | 24,67 | 20,18 | 4,52 |
| 8 | 10,80 | 6,33 | 4,49 |
| 9 | 21,51 | 17,04 | 4,47 |
| 10 | 6,14 | 6,14 | 4,47 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base nos valores da amostra piloto, foram calculados os parâmetros bem como o número ideal de replicações n^* (Equação 29), conforme é apresentado na Tabela 4.23.

Para avaliar a precisão da estimativa das variáveis mencionadas levando em considera-

Tabela 4.23: Parâmetros dos tempos médios

| Parâmetros | Tempo médio no sistema | Tempo médio em fila | Tempo médio em operação |
|-------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|
| Média | 13,60 | 9,58 | 4,47 |
| Desvio Padrão | 5,85 | 5,35 | 0,06 |
| Erro obtido (h) | 4,18 | 3,82 | 0,04 |
| Erro desejado (h^*) | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| n^* | 28,91 | 27,65 | 3,00 |

Fonte: Elaborado pelo autor

ção as 10 primeiras replicações da amostra piloto, foi calculado os intervalos de confiança para a média (μ) das mesmas (Equações 27 e 28), considerando um nível de confiança de 95% e grau de liberdade de 9 ($n - 1$), conforme é apresentado na Tabela 4.24. Esse intervalo de confiança permite compreender a variabilidade dos resultados e fornece uma faixa na qual se espera que o valor real da média esteja.

Tabela 4.24: Intervalos de confiança para as variáveis analisadas com 10 replicações

| Variáveis | Intervalo de confiança |
|-------------------------|----------------------------|
| Tempo médio no sistema | $9,42 \leq \mu \leq 17,78$ |
| Tempo médio em fila | $5,75 \leq \mu \leq 13,40$ |
| Tempo médio em operação | $4,42 \leq \mu \leq 4,51$ |

Fonte: Elaborado pelo autor

Os intervalos de confiança da amostra piloto apresentados na Tabela 4.24 fornecem uma visão inicial sobre a variabilidade e a precisão das estimativas para as três variáveis analisadas. Para o tempo médio no sistema, o intervalo varia de 9,42 a 17,78 dias, indicando que a média populacional está dentro dessa faixa. Esse intervalo relativamente amplo reflete a limitação do tamanho reduzido da amostra, o que contribui para uma maior incerteza nas estimativas do tempo total que os navios passam no sistema. O tempo médio em fila apresenta um intervalo entre 5,75 e 13,40 dias, evidenciando também uma maior variabilidade associada ao tempo de espera dos navios na fila, possivelmente influenciado por fatores externos, como a chegada irregular de navios e a capacidade operacional do terminal. Por outro lado, o tempo médio em operação apresenta um intervalo mais estreito, de 4,42 a 4,51 dias, refletindo uma maior estabilidade e previsibilidade nessa etapa do processo. No entanto, é importante destacar que esses resultados são preliminares e estão limitados pela amostra piloto.

Com base nesses dados, foi determinado o número ideal de replicações, denotado por n^* , necessário para assegurar uma precisão adequada nos resultados, dado que o erro desejado seja igual a 0,5. O valor calculado de n^* para o Tempo médio do navio no sistema (tempo de estadia) foi de aproximadamente 28,91, para o tempo médio dos navios em fila foi de aproximadamente 27,65 e para o tempo médio em operação foi de aproximadamente

3,00. Para aprimorar a representatividade e a precisão das estimativas, optou-se por realizar 29 replicações, garantindo uma margem de segurança e maior robustez nas análises. Os resultados das 29 replicações bem como a média e o desvio padrão são apresentados na Tabela 4.25.

Tabela 4.25: Resultados das replicações da amostra piloto

| Replicação | Tempo médio no sistema | Tempo médio em fila | Tempo médio em operação |
|---------------|------------------------|---------------------|-------------------------|
| 1 | 12,32 | 7,94 | 4,37 |
| 2 | 7,98 | 3,60 | 4,37 |
| 3 | 16,14 | 11,67 | 4,47 |
| 4 | 14,90 | 10,43 | 4,47 |
| 5 | 9,73 | 5,18 | 4,55 |
| 6 | 11,85 | 7,33 | 4,52 |
| 7 | 24,67 | 20,15 | 4,52 |
| 8 | 10,80 | 6,30 | 4,47 |
| 9 | 21,51 | 17,04 | 4,47 |
| 10 | 6,14 | 1,67 | 4,47 |
| 11 | 14,95 | 10,59 | 4,35 |
| 12 | 7,02 | 2,55 | 4,47 |
| 13 | 10,66 | 6,28 | 4,37 |
| 14 | 14,89 | 10,50 | 4,40 |
| 15 | 6,94 | 2,40 | 4,54 |
| 16 | 25,24 | 20,45 | 4,79 |
| 17 | 21,98 | 17,33 | 4,65 |
| 18 | 16,90 | 12,18 | 4,72 |
| 19 | 15,09 | 10,30 | 4,79 |
| 20 | 12,15 | 7,55 | 4,59 |
| 21 | 10,76 | 6,34 | 4,42 |
| 22 | 22,88 | 18,43 | 4,46 |
| 23 | 8,64 | 4,19 | 4,45 |
| 24 | 8,45 | 3,80 | 4,65 |
| 25 | 13,91 | 9,41 | 4,51 |
| 26 | 14,39 | 9,76 | 4,63 |
| 27 | 8,00 | 3,36 | 4,64 |
| 28 | 7,54 | 3,16 | 4,38 |
| 29 | 11,89 | 7,52 | 4,37 |
| Média | 13,38 | 8,87 | 4,51 |
| Desvio Padrão | 5,49 | 5,45 | 0,12 |
| Erro (h) | 3,92 | 3,89 | 0,08 |

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 4.25 apresenta os tempos médios no sistema, em fila e em operação, além de informações estatísticas que auxiliam na interpretação dos resultados. O tempo médio no sistema foi de 13,38 dias, representando o período total médio em que as embarcações permanecem no porto, desde a chegada até a conclusão do atendimento. Desses, aproximadamente 8,87 dias foram gastos, em média, na fila, enquanto 4,51 dias foram dedicados ao atendimento ativo, ou seja, no principal objetivo dos navios no porto. Esses números indicam que cerca de 66% do tempo total no sistema foi consumido na espera.

O desvio padrão revela uma variabilidade significativa nos tempos no sistema (5,49 dias) e na fila (5,45 dias), refletindo flutuações entre as replicações, possivelmente causadas por diferenças nos padrões de chegada ou atendimento. Por outro lado, o tempo em

operação apresentou um desvio padrão muito menor (0,12 dia), demonstrando maior consistência e regularidade no atendimento. Esses valores sugerem que, enquanto os tempos de espera e permanência total no sistema podem ser impactados por fatores externos, o processo de operação é mais controlado e previsível.

O erro padrão reflete a incerteza associada às estimativas das médias. O erro foi de 3,92 dias para o tempo no sistema, 3,89 dias para o tempo em fila e 0,08 dia para o tempo em operação. O valor mais baixo para o tempo em operação reforça sua estabilidade em comparação com os demais. Esses resultados fornecem uma visão preliminar da eficiência do sistema e destacam os gargalos relacionados ao tempo de espera na fila.

A Tabela 4.26 mostra os resultados do novo intervalo de confiança para as variáveis simuladas, para um intervalo de confiança que ainda é de 95%, mas agora com um grau de liberdade igual a 28 (já que agora o número de replicações é 29) e portanto com um novo *t-student* de aproximadamente 2,045.

Tabela 4.26: Intervalos de confiança para as variáveis analisadas com 29 replicações

| Variáveis | Intervalo de confiança |
|-------------------------|-----------------------------|
| Tempo médio no sistema | $11,26 \leq \mu \leq 15,51$ |
| Tempo médio em fila | $6,76 \leq \mu \leq 10,98$ |
| Tempo médio em operação | $4,46 \leq \mu \leq 4,56$ |

Fonte: Elaborado pelo autor

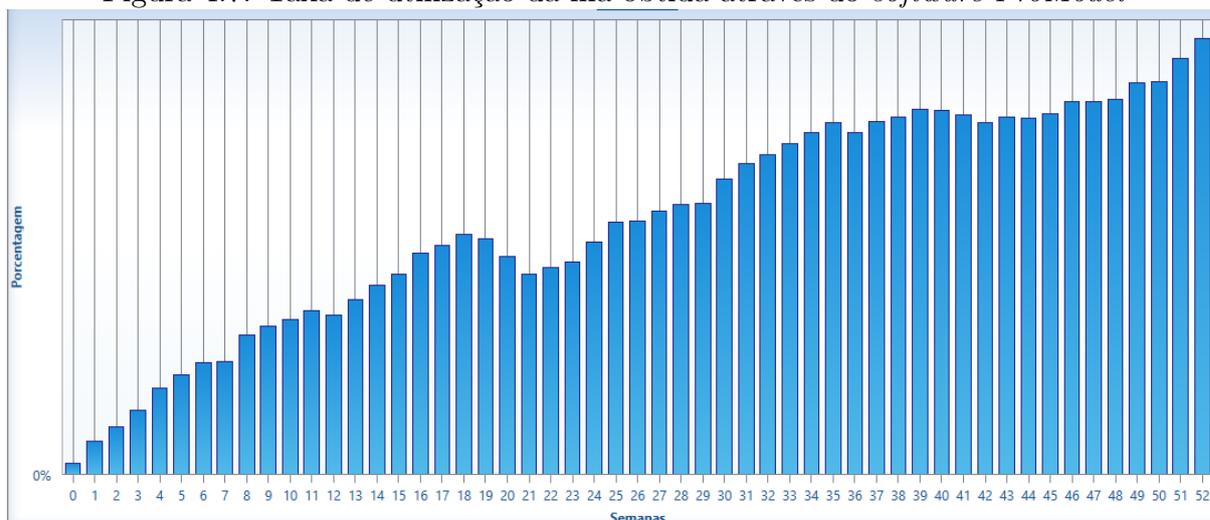
A análise dos intervalos de confiança antes e após o cálculo do número ideal de replicações evidencia o impacto direto do aumento no número de amostras sobre a precisão das estimativas. Inicialmente, considerando os resultados da amostra piloto com 10 replicações, os intervalos de confiança apresentaram uma maior amplitude. Após a determinação do número ideal de replicações, os intervalos de confiança foram recalculados com base em um maior número de dados, resultando em intervalos mais estreitos. Essa diferença nos intervalos de confiança demonstra como um número ideal de replicações reduz a incerteza das estimativas, aumentando a precisão dos resultados. O estreitamento dos intervalos é particularmente notável para os tempos no sistema e em fila, que inicialmente apresentavam maior variabilidade. O tempo em operação, por sua natureza mais consistente e previsível, já possuía um intervalo relativamente pequeno na amostra piloto, mas também apresentou uma ligeira redução após o aumento do número de replicações.

Ao comparar as variáveis, observa-se que o tempo médio em fila representa uma proporção considerável do tempo total no sistema. Isso indica que otimizações na fila poderiam reduzir significativamente o tempo de permanência total no sistema. O tempo médio em operação, por outro lado, é o mais estável e apresenta menor variabilidade,

o que sugere que o atendimento ativo já opera de forma eficiente. De forma geral, os resultados evidenciam que esforços para melhorar o gerenciamento da fila podem trazer os maiores ganhos para o desempenho do sistema.

A Figura 4.7 apresenta a taxa de utilização da fila dos navios ao longo do ano de 2023, calculada por meio do *software ProModel* sendo a primeira semana correspondente à primeira semana do ano.

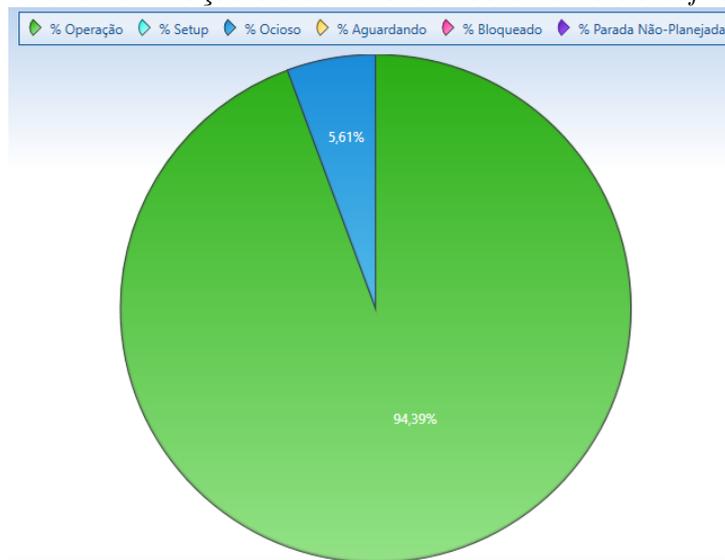
Figura 4.7: Taxa de utilização da fila obtida através do *software ProModel*



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Figura 4.7, observa-se que o percentual é baixo nas primeiras semanas do ano, possivelmente refletindo um menor volume de operações típicas do início do ano, como em janeiro. A partir da semana 15 (abril), os valores se estabilizam em um patamar intermediário, sugerindo consistência nas atividades durante a primeira metade do ano. A partir da semana 30 (final de julho), há um crescimento mais acentuado, que se intensifica após a semana 40 (início de outubro), alcançando os níveis mais altos nas semanas finais de novembro e dezembro. Essa tendência é compatível com o aumento sazonal esperado em função de demandas de final de ano, como exportações agrícolas ou outras atividades relacionadas a ciclos produtivos e comerciais. A análise desses padrões reforça a importância de compreender as influências sazonais e a capacidade operacional para planejar adequadamente períodos de maior demanda.

A Figura 4.8 apresenta a porcentagem das atividades dos navios no terminal, obtida a partir das análises realizadas no *software ProModel*.

Figura 4.8: Taxa de utilização do sistema obtida através do *software ProModel*

Fonte: Elaborado pelo autor

Com a Figura 4.8, pode-se observar que 94,39% do tempo total é dedicado ao atendimento dos navios, enquanto apenas 5,61% corresponde a períodos ociosos. Embora uma taxa de utilização elevada possa indicar um bom aproveitamento operacional, é importante ter cautela, pois uma utilização de 94,39% se aproxima de um nível crítico que pode comprometer a estabilidade do sistema. Taxas de utilização muito altas aumentam o risco de saturação do sistema, reduzindo sua capacidade de absorver imprevistos, como atrasos, manutenções ou flutuações inesperadas na demanda. Por isso, é essencial garantir uma margem operacional que permita flexibilidade, evitando que o terminal opere próximo do limite máximo de sua capacidade. Nesse contexto, a proporção observada reforça a necessidade de monitoramento constante para assegurar a confiabilidade e a eficiência do terminal.

A Figura 4.9 apresenta a taxa de utilização de cada um dos berços do terminal de fertilizantes (Berço 208, 209 e 211), simulada no *software Promodel*.

Figura 4.9: Taxa de utilização dos berços 208, 209 e 211 obtida através do *software ProModel*



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 4.9 evidencia taxas de utilização elevadas e bastante próximas entre os berços analisados. O Berço 208 apresenta a maior taxa, com 96,52%, seguido pelo Berço 209, com 94,85%, e pelo Berço 211, com 91,8%. Essas variações indicam que todos os berços operam em níveis altamente eficientes, com diferenças que podem estar associadas a características específicas, como o tipo ou volume de carga processada ou variações na demanda.

Entretanto, a proximidade das taxas de utilização ao limite de 100% exige atenção. Embora demonstrem alta produtividade, taxas tão elevadas podem reduzir a flexibilidade operacional necessária para lidar com imprevistos, como atrasos de navios, manutenções não programadas ou picos inesperados de demanda. Um sistema saturado pode rapidamente se tornar instável, aumentando os tempos de espera e comprometendo a eficiência global do terminal. Nesse sentido, é fundamental monitorar constantemente essas taxas para garantir que o terminal opere em um equilíbrio sustentável, mantendo sua capacidade de resposta a variações e evitando a sobrecarga do sistema.

4.5 Comparação

Nesta subseção, são analisados os resultados obtidos pela Teoria das Filas para os modelos $M/G/3$ e $M/E_4/3$ em comparação com os resultados da Simulação, considerando as métricas de desempenho principais: tempo médio em fila (W_q) e tempo médio no sistema (W_s). A análise também avalia a aderência dos resultados teóricos aos intervalos de confiança da Simulação, conforme é apresentado na Tabela 4.27.

Tabela 4.27: Comparação entre os resultados teóricos e simulados (em dias)

| Métrica | M/G/3 | M/E ₄ /3 | Simulação | Simulação (IC 95%) | Tempo Real |
|----------------------------------|-------|---------------------|-----------|--------------------|------------|
| Tempo médio em fila (W_q) | 1,12 | 1,13 | 8,87 | [6, 76; 10, 98] | 8,44 |
| Tempo médio no sistema (W_s) | 5,73 | 5,74 | 13,38 | [11, 26; 15, 51] | 12,94 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados indicam que os tempos médios em fila (W_q) calculados pela Teoria das Filas foram semelhantes para os modelos M/G/3 e M/E₄/3, com valores de 1,14 e 1,13 dias, respectivamente. No entanto, esses valores estão significativamente abaixo da média obtida pela Simulação, que foi estimada em aproximadamente 8,87 dias, com um intervalo de confiança de [6, 76, 10, 98]. Quando comparados ao tempo real médio de 8,44 dias, percebe-se que os valores simulados estão mais próximos da realidade, reforçando a precisão da Simulação em capturar a dinâmica operacional do sistema portuário.

Em relação ao tempo médio no sistema (W_s), os valores teóricos para ambos os modelos apresentaram proximidade, com aproximadamente 5,74 dias. Esses valores também ficaram abaixo da média fornecida pela Simulação, que foi de 13,38 dias, dentro do intervalo de confiança [11, 26; 15, 51]. Em comparação com o tempo real médio no sistema de 12,94 dias, observa-se que a Simulação reflete de maneira mais acurada as condições reais do porto, ao incorporar variabilidade e características dinâmicas, como atrasos e interações complexas entre navios.

Essas discrepâncias entre os métodos teóricos e os simulados destacam a importância de considerar abordagens mais robustas, como a Simulação Computacional, no planejamento e na gestão portuária. Enquanto a Teoria das Filas é uma ferramenta útil para análises simplificadas, seus modelos subestimam os tempos de espera e estadia, o que pode levar a decisões ineficientes, como alocações inadequadas de recursos ou planejamento insuficiente de janelas de atracação. A Simulação, por sua vez, captura com maior precisão a variabilidade do sistema e apresenta maior confiabilidade para apoiar decisões operacionais e estratégicas.

Por fim, para aprimorar a aplicabilidade prática dos modelos teóricos, torna-se necessário introduzir um fator de ajuste nos resultados da Teoria das Filas. Esse ajuste permitiria alinhar as estimativas teóricas aos tempos reais médios e aos intervalos de confiança observados na Simulação, aumentando sua aderência à realidade do sistema portuário e sua utilidade no suporte à tomada de decisão.

4.5.1 Criação de um fator de ajuste para o modelo M/G/c de Teoria das filas

A análise iniciou com o cálculo da taxa de atendimento total (μ_{total}), obtida pela soma das três taxas de atendimento individuais mencionadas na Tabela 4.17. O valor resultante, $\mu_{\text{total}} = 0,6535$, reflete a eficiência combinada do sistema em processar os navios.

Para avaliar o impacto relativo de cada berço no sistema, os pesos normalizados foram calculados, utilizando a Equação 31, e estão apresentados na Tabela 4.28.

Tabela 4.28: Pesos Normalizados por Berço

| | 208 | 209 | 211 |
|-------|----------|----------|----------|
| Pesos | 0,346639 | 0,308754 | 0,344607 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com esses pesos, foi possível calcular o fator de ajuste f , utilizando a Equação 27, obtendo o valor de $f = 7,2393$. Esse fator de ajuste foi aplicado para determinar o tempo médio de permanência no sistema (W_s), resultando em $W_s = 12,74$ dias. O valor está dentro do intervalo de confiança da variável “tempo médio do navio no sistema” (Tabela 4.29) obtido através da Simulação, indicando a consistência da simulação e do modelo.

Adicionalmente, a Equação de Little (Equações 10) foi utilizada para recalculer o tempo médio de espera dos navios na fila (W_q), resultando em $W_q = 8,15$ dias. Assim como W_s , esse valor também está dentro do intervalo de confiança obtido na simulação, reforçando a adequação do modelo.

A Tabela 4.29 apresenta os resultados obtidos para o tempo médio no sistema (W_s) e o tempo médio na fila (W_q), comparando os valores calculados teoricamente com os pontos médios dos intervalos de confiança obtidos na simulação e o erro percentual para medir a discrepância entre os dois valores.

Tabela 4.29: Resultados teóricos comparados ao da simulação

| Medidas de desempenho | Resultado Calculado | Ponto médio do IC | Intervalo de Confiança | Erro (%) |
|----------------------------------|---------------------|-------------------|------------------------|----------|
| Tempo médio no sistema (W_s) | 12,74 | 13,38 | [11,26; 15,51] | 4,78% |
| Tempo médio na fila (W_q) | 8,15 | 8,87 | [6,76; 10,98] | 8,11% |

Fonte: Elaborado pelo autor

Para o tempo médio no sistema (W_s), o valor calculado foi 12,74, enquanto o ponto médio do intervalo de confiança foi 13,38, resultando em um erro percentual de 4,78%. Essa diferença está dentro de limites razoáveis, indicando que o modelo teórico representa bem os resultados simulados, mesmo em cenários com variações significativas nos dados.

Já para o tempo médio na fila (W_q), o valor calculado foi 8,15 e o ponto médio do intervalo de confiança foi 8,87, com um erro percentual de 8,11%. Apesar de ligeiramente maior, esse erro ainda é aceitável, considerando a natureza estocástica do sistema, sugerindo um leve impacto das condições do sistema no modelo teórico.

De forma geral, os baixos erros percentuais validam o uso do fator de ajuste no cálculo teórico. Os intervalos de confiança amplos refletem a variabilidade natural das condições de simulação. Essa análise demonstra que os modelos teóricos podem ser eficazes na representação de sistemas de filas complexos, mesmo com múltiplos servidores, contribuindo para abordar lacunas na literatura, como as inconsistências frequentemente observadas em sistemas $M/G/3$.

Esses resultados destacam a importância do balanceamento proporcional entre os berços para garantir maior eficiência no atendimento. A utilização de pesos normalizados permitiu uma distribuição mais justa da capacidade, considerando as especificidades de cada berço, e contribuiu para a melhoria na alocação de recursos. Os tempos médios obtidos demonstram que o sistema opera de forma estável e previsível, corroborando a validade do modelo proposto.

A introdução do fator de ajuste (f) trouxe uma contribuição significativa para a literatura de teoria das filas, especialmente no contexto de sistemas $M/G/3$. Enquanto a maior parte da literatura apresenta resultados consistentes para sistemas com apenas um servidor ($M/G/1$), análises envolvendo múltiplos servidores, como $M/G/3$, frequentemente enfrentam inconsistências devido à maior complexidade do sistema. Nesse cenário, o fator de ajuste proporciona uma solução prática e precisa, ajustando os parâmetros do modelo para refletir as condições reais do sistema e reduzindo as discrepâncias nos resultados.

4.6 Definição da regra da fila com Apoio Multicritério à decisão

A seguir, será apresentada a aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para a seleção da melhor regra de fila no contexto da atracação de navios no terminal de fertilizantes. Inicialmente, foram realizadas as comparações entre os critérios, seguidas pelas comparações das alternativas dentro de cada critério, utilizando a escala de Saaty.

A Tabela 4.30 apresenta a matriz de julgamento dos critérios, construída com base nas comparações realizadas pelo especialista. A última coluna da tabela contém o vetor

de prioridade, que representa as prioridades relativas de cada critério.

Tabela 4.30: Prioridade relativa de cada critério

| Critérios | Nível de Serviço | Tempo no Sistema | Tempo Médio de Serviço | Ocupação da Fila | Vetor de Prioridade |
|------------------------|------------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------|
| Nível de Serviço | 1 | 9 | 1 | 9 | 0,47939 |
| Tempo no Sistema | 1/9 | 1 | 5 | 5 | 0,09473 |
| Tempo Médio de Serviço | 1 | 1/5 | 1 | 1/9 | 0,39041 |
| Ocupação da Fila | 1/9 | 1/5 | 9 | 1 | 0,03547 |

Fonte: Elaborado pelo autor

O índice de consistência calculado foi de 0,09692, indicando que as comparações realizadas na matriz de decisão são consistentes, pois o valor está abaixo do limite aceitável de 0,10. Isso reforça a confiabilidade dos pesos atribuídos aos critérios e garante que a hierarquia entre eles seja bem fundamentada.

Após analisar os resultados da Tabela 4.30, observa-se que o Nível de Serviço apresentou o maior peso (0,47939). Esse resultado era esperado, dado que o critério está diretamente relacionado à eficiência no atendimento dos navios e à capacidade de evitar atrasos, sendo essencial para as operações portuárias. O segundo maior peso foi atribuído ao Tempo Médio Atracado (0,39041), indicando que tempos menores de atracação contribuem para uma maior rotatividade dos berços, otimizando o uso dos recursos disponíveis.

Por outro lado, o Tempo no Sistema apresentou um peso menor (0,09473), o que reflete sua menor influência relativa em comparação aos outros critérios na definição da regra de fila. Apesar disso, ele permanece sendo um elemento importante, pois está relacionado ao desempenho global do sistema. A Ocupação da Fila, apesar de ter apresentado menor peso (0,03547), também é relevante, pois contribui para avaliar como os recursos portuários estão sendo utilizados e ajuda a complementar a análise de eficiência no sistema.

Esses resultados demonstram que, para a escolha da regra de fila, os critérios Nível de Serviço e Tempo Médio Atracado se destacaram como os mais influentes, por estarem diretamente associados à eficiência operacional e à rotatividade dos berços. Contudo, os critérios Tempo no Sistema e Ocupação da Fila, embora com pesos menores, também possuem relevância dentro do contexto analisado, pois contribuem para uma visão mais abrangente e equilibrada do desempenho portuário.

Foram elaboradas quatro matrizes de julgamento, uma para cada critério considerado: Nível de Serviço, Tempo no Sistema, Tempo Médio Atracado e Ocupação da Fila.

Nessas matrizes, as alternativas foram comparadas de forma pareada utilizando a Escala Fundamental de Saaty.

A comparação entre as alternativas foi feita com base no impacto relativo de cada regra de fila (EDD, SJF, Prioridade para cargas acima de 20.000 toneladas e FIFO) em relação a cada critério. Esse processo foi realizado de maneira a capturar a percepção subjetiva dos decisores quanto à importância relativa de cada alternativa dentro do contexto específico do terminal de fertilizantes. Os pesos resultantes dessas comparações foram então agregados para determinar a regra de fila mais adequada com base nos critérios analisados.

Os resultados obtidos a partir da aplicação do modelo multicritério implementado por meio do *software SuperDecision* foram analisados e os pesos atribuídos aos critérios foram normalizados por cluster e apresentados na Figura 4.10.

Figura 4.10: Resultados do modelo multicritério implementado no *SuperDecision*

| Name | | Normalized by Cluster | Limiting |
|--|-----------|-----------------------|----------|
| Selecionar a regra de fila de Teoria das Filas | | 0.00000 | 0.000000 |
| Tempo no sistema | Critérios | 0.09473 | 0.047365 |
| nível de serviço | | 0.47939 | 0.239693 |
| Tempo atracado | | 0.39041 | 0.195207 |
| Taxa de Ocupação da fila | | 0.03547 | 0.017735 |
| FIFO | | Alternativas | 0.12247 |
| Priority queue (tempo de espera) | 0.11744 | | 0.058718 |
| SJF | 0.31318 | | 0.156588 |
| EDD | 0.44692 | | 0.223462 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Entre as alternativas, a regra de fila EDD (*Earliest Due Date*) foi a que apresentou o maior peso relativo (0,44692 ou 44,69%). Isso indica que essa alternativa atende melhor aos critérios priorizados, especialmente ao Nível de Serviço e ao Tempo Médio de Serviço, que foram os critérios de maior peso. Em segundo lugar, a regra SJF (*Shortest Job First*), com peso de 0,31318 (31,32%), também obteve um bom desempenho, especialmente para situações que priorizam navios menores. Já as alternativas FIFO (*First In, First Out*) e *Priority Queue* apresentaram os menores pesos, 0,12247 (12,25%) e 0,11744 (11,74%), respectivamente, sugerindo menor adequação aos critérios priorizados.

Assim, os resultados indicam que a regra EDD é a mais recomendada para adoção, pois apresentou o melhor desempenho em relação aos critérios priorizados. Contudo, a regra SJF também se destaca como uma alternativa viável, especialmente em contextos onde a prioridade esteja voltada para navios de menor porte.

A Tabela 4.31 apresenta os resultados das simulações dos quatro cenários de regra de filas: FIFO, JSF, EDD e *Priority Queue*.

Tabela 4.31: Comparação entre critérios e regras de fila

| Critérios / Regras de Fila | FIFO | Priority Queue | SJF | EDD |
|-----------------------------------|-------------|-----------------------|------------|------------|
| Tempo Médio de Espera | 4,00 | 0,67 | 0,80 | 0,25 |
| Nível de Serviço | 0,81 | 0,64 | 0,64 | 0,56 |
| Tempo no Sistema | 8,62 | 4,15 | 4,27 | 4,82 |
| Tempo Médio de Serviço | 4,62 | 3,48 | 3,47 | 4,57 |
| Ocupação da Fila | 0,53 | 0,20 | 0,22 | 0,07 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados da simulação fornecem uma visão do desempenho das regras de fila em diferentes critérios, permitindo uma análise complementar aos resultados obtidos pelo AHP. No AHP, a regra EDD foi apontada como a mais recomendada, seguida por SJF, enquanto FIFO e Priority Queue apresentaram menor adequação. Esses rankings foram validados em grande parte pelos resultados da simulação.

No critério Tempo Médio de Espera, a regra EDD apresentou o melhor desempenho (0,25 dias), seguida por SJF (0,80 dias) e Priority Queue (0,67 dias). A regra FIFO, que atualmente é utilizada, teve o pior resultado (4 dias), evidenciando sua limitação em reduzir o tempo de espera dos navios, conforme também indicado pelo seu baixo peso no AHP.

Para o Nível de Serviço, representado pela taxa de utilização do berço, a regra FIFO apresentou a maior taxa (81%), enquanto EDD registrou a menor (56%). Embora taxas mais altas possam sugerir maior utilização do terminal, valores muito elevados nem sempre são desejáveis, pois podem indicar sobrecarga operacional e menor flexibilidade. Nesse sentido, a redução na taxa de utilização observada com EDD reflete um cenário mais equilibrado, permitindo que mais navios possam vir a ser atendidos ao longo do tempo sem sobrecarregar os recursos do terminal. Esse resultado é coerente com o peso elevado do Nível de Serviço no AHP (47,94%), reforçando a importância de otimizar o uso dos berços sem comprometer a eficiência e a capacidade de receber novos navios.

O Tempo no Sistema destacou *Priority Queue* como a melhor alternativa (4,15 dias), seguida por SJF (4,27 dias) e EDD (4,82 dias). FIFO apresentou o pior desempenho nesse critério, com um valor significativamente maior (8,62). Esses resultados indicam que regras como *Priority Queue*, que priorizam navios maiores, e SJF, que atendem os navios mais rápidos, tendem a otimizar o tempo total que os navios permanecem no sistema, reduzindo atrasos e melhorando a eficiência operacional.

No critério Tempo Médio de Serviço, *Priority Queue* (3,48 dias) e SJF (3,47 dias) apresentaram resultados muito próximos e foram os melhores. FIFO (4,62 dias) e EDD (4,57 dias) tiveram tempos maiores, indicando menor eficiência em atender os navios.

Por fim, a Taxa de Ocupação da Fila foi menor para EDD (7%), destacando sua eficiência em liberar rapidamente a fila, enquanto FIFO teve a maior taxa (53%), seguido por *Priority Queue* (20%) e SJF (22%). Este resultado é coerente com o melhor desempenho de EDD no AHP, já que filas menores podem refletir maior agilidade operacional.

De forma geral, os resultados da simulação corroboram a análise do AHP, que apontou EDD como a melhor regra de fila, seguida por SJF. A regra EDD apresentou os melhores desempenhos nos critérios Tempo Médio de Espera e Taxa de Ocupação da Fila, que são diretamente ligados à eficiência operacional, apesar de apresentar um Nível de Serviço menor. Já a SJF mostrou-se uma alternativa robusta, com bons resultados em Tempo no Sistema e Tempo Médio de Serviço, sendo especialmente vantajosa para cenários onde navios menores sejam priorizados.

FIFO e *Priority Queue*, embora tenham desempenhado bem em alguns critérios, como Nível de Serviço para FIFO e Tempo Médio de Serviço para *Priority Queue*, não apresentaram desempenho geral suficiente para superar EDD e SJF. FIFO, em particular, teve resultados desfavoráveis em Tempo no Sistema e Tempo Médio de Espera, reforçando sua baixa adequação à priorização definida pelo AHP. Esses resultados destacam que, ao selecionar uma regra de fila, é fundamental considerar não apenas os pesos atribuídos aos critérios, mas também o desempenho das alternativas em cenários simulados, para garantir uma decisão equilibrada e alinhada às prioridades operacionais do terminal.

Capítulo 5

Conclusão

O presente estudo investigou a otimização dos tempos de estadia no Terminal Corredor de Fertilizantes do Porto de Paranaguá, integrando ferramentas de Teoria das Filas, Simulação Computacional e Apoio Multicritério à Decisão. Essa abordagem permitiu uma análise das operações portuárias, proporcionando contribuições relevantes para a compreensão e a gestão das dinâmicas do sistema. O trabalho apresentou soluções não apenas para a melhoria da eficiência operacional, mas também para a redução de custos associados aos gargalos e atrasos nas operações. Essa redução decorre diretamente da diminuição dos tempos de espera e estadia dos navios, que impactam tanto nas penalidades financeiras associadas a atrasos (como *demurrage*) quanto na otimização do uso dos recursos portuários, promovendo maior previsibilidade e controle sobre as operações.

Inicialmente, a análise dos dados brutos revelou a importância de um robusto pré-processamento, destacando a necessidade de lidar com valores atípicos para garantir a qualidade das inferências. A metodologia de filtragem e a utilização do método Interquartil para identificação de *outliers* permitiram refinar os dados, resultando em uma base confiável para modelagem e simulação. Além disso, as distribuições de probabilidade ajustadas confirmaram a adequação dos dados para os modelos teóricos de filas aplicados.

Os modelos teóricos $M/G/3$ e $M/E_k/3$ foram utilizados para mensurar as métricas de desempenho do sistema, como tempos médios de espera (W_q) e tempos médios no sistema (W_s). O estudo evidenciou que os modelos teóricos, embora eficazes em fornecer estimativas gerais, apresentam limitações na captura da variabilidade observada no sistema real. Nesse contexto, a criação de um fator de ajuste para o modelo $M/G/c$ destacou-se como uma solução relevante, aumentando a aderência entre os resultados teóricos e as condições empíricas.

A etapa de simulação computacional revelou-se fundamental para validar os modelos teóricos e explorar cenários alternativos. A modelagem com base em eventos discretos permitiu observar, com maior detalhamento, o impacto das variações nos tempos de chegada e de atendimento sobre o desempenho do sistema. Os resultados confirmaram a superioridade das simulações na reprodução da complexidade do sistema portuário, especialmente em cenários onde a variabilidade é elevada.

Outro ponto importante do trabalho foi a aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para definir regras de fila de Teoria das Filas mais eficientes no ordenamento de atracações. Entre as alternativas analisadas, a regra EDD (*Earliest Due Date*) demonstrou maior eficácia na redução dos tempos de espera e na melhoria da utilização dos berços. Essa abordagem multicritério não apenas validou sua aplicabilidade em cenários complexos, como também destacou a flexibilidade do método em integrar aspectos qualitativos e quantitativos na tomada de decisão.

Os resultados gerais deste estudo destacaram a importância de integrar abordagens analíticas e computacionais para a otimização de sistemas portuários. A análise comparativa entre os modelos teóricos e as simulações evidenciou que, embora os modelos matemáticos sejam fundamentais para fornecer estimativas iniciais, a simulação computacional é indispensável para compreender plenamente a dinâmica do sistema, especialmente em contextos de alta variabilidade e interdependência.

Além das contribuições metodológicas, este trabalho tem implicações práticas para a gestão do Porto de Paranaguá. As estratégias propostas para a otimização dos tempos de estadia podem ser implementadas para aumentar a eficiência operacional e reduzir os custos associados a penalidades financeiras, como *demurrage*. Tais melhorias contribuem para a competitividade da cadeia de suprimentos agrícola, reforçando o papel estratégico do Porto de Paranaguá na economia brasileira.

Por fim, para trabalhos futuros, sugere-se a ampliação do escopo desta pesquisa para outros terminais portuários e diferentes tipos de carga. Além disso, recomenda-se investigar as possíveis variações sazonais nos dados, agrupando-os por períodos específicos, como início e final do ano. Essa abordagem poderia revelar comportamentos distintos das filas e do tempo de estadia, fornecendo subsídios para estratégias de gestão diferenciadas ao longo do ano.

A incorporação de técnicas avançadas, como otimização multiobjetivo e aprendizado de máquina, pode também oferecer soluções ainda mais robustas para a gestão portuária. Assim, espera-se que este estudo inspire novos avanços na área, contribuindo para o

desenvolvimento de sistemas logísticos mais eficientes e sustentáveis.

Referências

- [1] Glossário hidroviário. <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/dnit-recebe-sugestoes-para-glossario-hidroviario-1/GlossrioHidroviarioREV13.pdf>, 2024. Acessado: 18 de setembro, 2024.
- [2] AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). Base de Dados do Sistema de Estatísticas Aquaviárias, 2024. Acesso em: 19 set. 2024.
- [3] AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). Competências Institucionais da ANTAQ, 2024. Acesso em: 19 set. 2024.
- [4] ALFREDINI, P., ARASAKI, E. *Engenharia portuária*. Blucher, 2018.
- [5] ALMEIDA, A. T., FERREIRA, R. J. P., CAVALCANTE, C. A. V. A review of the use of multicriteria and multi-objective models in maintenance. *IMA Journal of Management Mathematics* 26 (2015), 249–271.
- [6] ARENALES, M., ARMENTANO, V., MORABITO, R., YANASSE, H. H. *Pesquisa Operacional: para cursos de engenharia, administração e economia*. Elsevier, Rio de Janeiro, 2011.
- [7] BALLOU, R. H. *GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS/LOGÍSTICA EMPRESARIAL*.
- [8] BARAT, J. *Logística e transporte no processo de globalização: oportunidades para o Brasil*. 2007. Acessado em: 18 setembro 2024.
- [9] BENÍCIO, L. P. Overview of the use of phosphate fertilizers in brazil, a review. *AGRI-ENVIRONMENTAL SCIENCES* 8 (12 2022), 12.
- [10] BRASIL. Lei nº 12.815, de 5 de junho de 2013, 2013. Dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 5 jun. 2013. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112815.htm. Acesso em: 23 fev. 2025.
- [11] BRONSON, R. *Operations Research*. Schaum's Outline Series, McGraw-Hill, New York, 1985.
- [12] BROOKS, R. J., ROBINSON, S. *Simulation, with Inventory Control*. Operational Research Series. Palgrave, Basingstoke, 2001.
- [13] CHWIF, L., MEDINA, A. C. *Modelagem e simulação de eventos discretos*. Afonso C. Medina, 2006.

- [14] COLLYER, W. Sobreestadia de navios: a regra 'once on demurrage, always on demurrage'. *Jus Navigandi 1166* (2006).
- [15] COWAN, S. Competition in the water industry. *Oxford Review of Economic Policy* 13, 1 (1997), 83–92.
- [16] DARKO, A., CHAN, A. P. C., AMEYAW, E. E., OWUSU, E. K., PÄRN, E., EDWARDS, D. J. Review of application of analytic hierarchy process (ahp) in construction. *International Journal of Construction Management* 19, 5 (2019), 436–452.
- [17] DE PERIÓDICOS DA MARINHA, P. Aspectos relevantes sobre estruturas de acostagem. *Revista Obras Civis* (2011). Acessado em: 18 setembro 2024.
- [18] DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ), A. N. Competências da antaq, 2024. Acessado em: 18 setembro 2024.
- [19] DEWI, N. K., PUTRA, A. S. Decision support system for head of warehouse selection recommendation using analytic hierarchy process (ahp) method. Em *International Conference Universitas Pekalongan 2021* (2021), vol. 1, p. 43–50.
- [20] DO TRANSPORTE, C. N. Plano cnt transporte - pesquisa completa.
- [21] DOS TRANSPORTES, M. Dicionário portuário, 2024. Acessado em: 18 setembro 2024.
- [22] D'OLIVEIRA, R. C. D. Aspectos relevantes sobre estruturas de acostagem. *Revista Obras Civis* 3, 1 (2011), 21–28.
- [23] FILHO, W. L. Editorial: realizing brazil's potential as a world class research nation. *Brazilian Journal of Science and Technology* 1 (2014), 1.
- [24] FISHMAN, G. S. *Discrete-event Simulation: Modeling, Programming, and Analysis*. Springer Science & Business Media, 2001.
- [25] FOGLIATTI, M. C., MATTOS, N. M. C. Teoria de filas. *Rio de Janeiro: Interciência* (2007), 1–290.
- [26] GROSS, D., SHORTLE, J. F., THOMPSON, J. M., HARRIS, C. M. *Fundamentals of Queueing Theory*, 4 ed. Wiley, 2008.
- [27] HILLIER, F. S., LIEBERMAN, G. J. *Introduction to Operations Research*, 10th ed. McGraw-Hill, 2013.
- [28] PANCHAL, S., SHRIVASTAVA, A. K. Landslide hazard assessment using analytic hierarchy process (ahp): A case study of national highway 5 in india. *Ain Shams Engineering Journal* 13, 3 (2022), 101626.
- [29] PARANÁ, P. D. Paraná é a principal porta de entrada de fertilizantes no brasil. *PORTOS DE PARANÁ LOGÍSTICA INTELIGENTE* (2019).
- [30] PRODANOV, C. C., DE FREITAS, E. C. *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2^a Edição*. Editora Feevale, 2013.

- [31] RIOS, R., DUARTE, S. Selection of ideal sites for the development of large-scale solar photovoltaic projects through analytical hierarchical process–geographic information systems (ahp-gis) in peru. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 149 (2021), 111310.
- [32] ROJAS, P. *Introdução à logística portuária e noções de comércio exterior*. Artes Médicas Editora, 2014.
- [33] SAATY, T. L. *The Analytical Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, NY, 1980.
- [34] SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences* 1, 1 (2008), 83–98.
- [35] SHEPPARD, S. Applying software engineering to simulation. *Simulation Practice and Theory* 10, 1 (1983).
- [36] SINGH, S., KUMAR, V. Modelling the determinants for sustainable smart city through interpretive structure modelling and analytic hierarchy process. *Computational Urban Science* 4, 1 (2024), 16.
- [37] SIPAHI, S., TIMOR, M. The analytic hierarchy process and analytic network process: An overview of applications. *Management Decision* 48 (2010), 775–808.
- [38] TAHA, H. A. *Operations Research: An Introduction*, 8th ed. Pearson Education, Upper Saddle River, NJ, 2008.
- [39] TRISKA, Y. Modelo de simulação discreta para o gerenciamento de janelas de atracação em um terminal portuário. *Trabalho de Conclusão de Curso - UFSC* (2021). Acessado: 18 setembro, 2024.
- [40] TUKEY, J. W. *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley, 1970. Preliminary edition.
- [41] WANG, C. B., ZHANG, L. X., ZHOU, P., CHANG, Y., ZHOU, D. Q., PANG, M. Y., YIN, H. Assessing the environmental externalities for biomass- and coal-fired electricity generation in china: A supply chain perspective. *Journal of Environmental Management* 246 (2019), 758–767.
- [42] YANNIS, G., OTHERS. State-of-the-art review on multi-criteria decision-making in the transport sector. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* 7, 4 (2020), 413–431.

APÊNDICE A – Tabela de atracação no terminal 'Corredor de Fertilizantes' no ano de 2023

A seguir, apresenta-se a tabela com os dados brutos de atracações no terminal 'Corredor de Fertilizantes' durante o ano de 2023, totalizando 197 registros de identificação de atracações (IDs). Esses dados foram obtidos a partir do sistema Estatístico Aquaviário da Agência Nacional de Transportes Aquaviários.

Tabela A.1: Dados das atracações dos navios no Porto
de Paranaguá

| IDAtracacao | Berço | TEspera Atra- cação (dias) | TEspera Início Op (dias) | TOperação (dias) | TEspera Desatrac- ção (dias) |
|-------------|-----------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1387409 | Berço 211 | 27,39722222 | 0,104166667 | 1,038194444 | 0,029861111 |
| 1387325 | Berço 208 | 28,60555556 | 0,044444444 | 2,827083333 | 0,097222222 |
| 1349909 | Berço 208 | 4,425 | 0,057638889 | 2,942361111 | 0,097222222 |
| 1340196 | Berço 211 | 0,133333333 | 0,107638889 | 1,625 | 0,090277778 |
| 1334336 | Berço 208 | 4,622222222 | 0,059027778 | 4,552083333 | 0,111111111 |
| 1339505 | Berço 209 | 4,384027778 | 0,540972222 | 4,709722222 | 0,077777778 |
| 1334334 | Berço 208 | 1,961805556 | 0,076388889 | 3,590277778 | 0,163194444 |
| 1403501 | Berço 208 | 30,4875 | 0,059027778 | 4,784722222 | 0,090277778 |
| 1339482 | Berço 208 | 5,973611111 | 0,201388889 | 2,3125 | 0,113888889 |
| 1403500 | Berço 209 | 39,13333333 | 0,0625 | 1,40625 | 0,121527778 |
| 1342714 | Berço 211 | 0,260416667 | 0,034722222 | 0,600694444 | 0,090277778 |

Continua na próxima página

Tabela A.1: Dados das atracações dos navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | TEspera Atra- cação (dias) | TEspera Início Op (dias) | TOperação (dias) | TEspera Desatraca- ção (dias) |
|--------------------|--------------|---|---|-----------------------------|--|
| 1333075 | Berço 209 | 8,263888889 | 0,128472222 | 2,505555556 | 0,088194444 |
| 1334329 | Berço 209 | 2,322916667 | 0,057638889 | 5,904166667 | 0,131944444 |
| 1349123 | Berço 211 | 8,746527778 | 0,055555556 | 4,072916667 | 0,116666667 |
| 1366664 | Berço 208 | 11,155555556 | 0,221527778 | 7,406944444 | 0,059027778 |
| 1359137 | Berço 209 | 5,760416667 | 0,277777778 | 3,013888889 | 0,100694444 |
| 1334341 | Berço 211 | 2,719444444 | 0,09375 | 2,576388889 | 0,107638889 |
| 1334338 | Berço 211 | 0,482638889 | 0,9375 | 4,288194444 | 0,111111111 |
| 1339497 | Berço 209 | 8,101388889 | 0,114583333 | 5,256944444 | 0,048611111 |
| 1349906 | Berço 209 | 7,48125 | 0,111111111 | 3,368055556 | 0,097222222 |
| 1342713 | Berço 209 | 4,684027778 | 0,090277778 | 3,120833333 | 0,111805556 |
| 1342716 | Berço 208 | 2,188888889 | 0,156944444 | 2,093055556 | 0,100694444 |
| 1413206 | Berço 211 | 44,66666667 | 0,159722222 | 7,340277778 | 0,020833333 |
| 1403502 | Berço 208 | 5,892361111 | 0,094444444 | 1,259722222 | 0,090277778 |
| 1366668 | Berço 209 | 6,626388889 | 0,070833333 | 4,588888889 | 0,107638889 |
| 1334335 | Berço 209 | 2,477083333 | 0,048611111 | 6,329861111 | 0,118055556 |
| 1334332 | Berço 211 | 4,25 | 0,059027778 | 1,875 | 0,121527778 |
| 1334331 | Berço 209 | 0,329861111 | 0,128472222 | 2,805555556 | 0,097222222 |
| 1381986 | Berço 208 | 10,77777778 | 0,145833333 | 2,9375 | 0,142361111 |
| 1349905 | Berço 209 | 12,77916667 | 0,134027778 | 1,996527778 | 0,101388889 |
| 1333087 | Berço 208 | 0,3625 | 0,104166667 | 4,397916667 | 0,100694444 |
| 1333093 | Berço 211 | 3,993055556 | 0,114583333 | 3,427083333 | 0,069444444 |
| 1340208 | Berço 209 | 6,253472222 | 0,055555556 | 3,100694444 | 0,09375 |
| 1359140 | Berço 211 | 28,53125 | 0,059027778 | 3,486111111 | 0,073611111 |
| 1345339 | Berço 208 | 0,90625 | 0,083333333 | 0,201388889 | 0,128472222 |
| 1334339 | Berço 211 | 0,145833333 | 0,104166667 | 1,381944444 | 0,073611111 |
| 1349118 | Berço 211 | 3,242361111 | 0,149305556 | 4,583333333 | 0,090277778 |
| 1334333 | Berço 209 | 13,35 | 0,378472222 | 4,927083333 | 0,041666667 |

Continua na próxima página

Tabela A.1: Dados das atracções dos navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | TEspera Atra- cação (dias) | TEspera Início Op (dias) | TOperação (dias) | TEspera Desatraca- ção (dias) |
|--------------------|--------------|---|---|-----------------------------|--|
| 1360323 | Berço 208 | 0,319444444 | 0,059027778 | 1,4375 | 0,086805556 |
| 1342705 | Berço 209 | 18,07291667 | 0,104166667 | 4,642361111 | 0,111111111 |
| 1333100 | Berço 211 | 0,100694444 | 1 | 3,260416667 | 0,125 |
| 1345338 | Berço 208 | 0,093055556 | 0,159722222 | 3,180555556 | 0,04375 |
| 1333074 | Berço 211 | 4,746527778 | 0,100694444 | 1,256944444 | 0,006944444 |
| 1333073 | Berço 209 | 6,152777778 | 0,006944444 | 0,90625 | 0,092361111 |
| 1333088 | Berço 209 | 1,515277778 | 0,086805556 | 4,669444444 | 0,115277778 |
| 1340205 | Berço 208 | 11,21180556 | 0,083333333 | 4,003472222 | 0,083333333 |
| 1413202 | Berço 208 | 2,959027778 | 0,121527778 | 1,409722222 | 1,076388889 |
| 1334327 | Berço 208 | 5,698611111 | 0,0625 | 3,777777778 | 0,114583333 |
| 1333072 | Berço 208 | 0,340277778 | 0,074305556 | 2,34375 | 0,070833333 |
| 1360324 | Berço 208 | 0,814583333 | 0,147222222 | 4,805555556 | 0,071527778 |
| 1340190 | Berço 209 | 5,411805556 | 0,078472222 | 3,067361111 | 0,097222222 |
| 1340195 | Berço 211 | 7,465277778 | 0,256944444 | 5,965277778 | 0,097222222 |
| 1376103 | Berço 208 | 15,67708333 | 0,09375 | 4,923611111 | 0,077777778 |
| 1339490 | Berço 211 | 9,131944444 | 0,055555556 | 2,256944444 | 0,118055556 |
| 1333098 | Berço 211 | 0,105555556 | 0,081944444 | 1,010416667 | 0,1875 |
| 1333086 | Berço 209 | 4,083333333 | 0,076388889 | 7,288194444 | 0,069444444 |
| 1334328 | Berço 211 | 17,63541667 | 0,053472222 | 3,703472222 | 0,131944444 |
| 1403496 | Berço 209 | 36,95902778 | 0,045138889 | 4,111111111 | 0,100694444 |
| 1334330 | Berço 211 | 0,134027778 | 0,1125 | 5,784722222 | 0,11875 |
| 1334340 | Berço 209 | 3,953472222 | 0,154166667 | 3,502083333 | 0,116666667 |
| 1359135 | Berço 209 | 4,963194444 | 0,128472222 | 6,871527778 | 0,173611111 |
| 1339503 | Berço 211 | 11,60763889 | 0,825 | 0,921527778 | 0,09375 |
| 1412791 | Berço 208 | 43,02361111 | 0,045138889 | 1,15625 | 0,097222222 |
| 1387329 | Berço 209 | 26,82638889 | 0,263888889 | 9,545138889 | 0,059027778 |
| 1340189 | Berço 208 | 6,315277778 | 0,090277778 | 4,513888889 | 0,065972222 |

Continua na próxima página

Tabela A.1: Dados das atracações dos navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | TEspera Atra- cação (dias) | TEspera Início Op (dias) | TOperação (dias) | TEspera Desatraca- ção (dias) |
|--------------------|--------------|---|---|-----------------------------|--|
| 1339485 | Berço 209 | 4,425 | 0,0625 | 3,013888889 | 0,072916667 |
| 1413205 | Berço 208 | 8,118055556 | 0,0875 | 4,093055556 | 0,063888889 |
| 1387332 | Berço 211 | 20,638888889 | 0,115972222 | 8,828472222 | 0,065972222 |
| 1340207 | Berço 211 | 0,875 | 0,069444444 | 3,256944444 | 0,059027778 |
| 1340204 | Berço 209 | 0,243055556 | 0,086805556 | 1,944444444 | 0,107638889 |
| 1339484 | Berço 211 | 7,177083333 | 0,0625 | 2,826388889 | 0,104166667 |
| 1403499 | Berço 211 | 43,68194444 | 0,065972222 | 6,993055556 | 0,086805556 |
| 1339502 | Berço 211 | 9,927083333 | 0,048611111 | 7,125 | 0,090277778 |
| 1339504 | Berço 208 | 9,996527778 | 0,142361111 | 5,423611111 | 0,118055556 |
| 1342710 | Berço 211 | 9,201388889 | 0,107638889 | 4,694444444 | 0,104166667 |
| 1340191 | Berço 211 | 6,118055556 | 0,111111111 | 4,378472222 | 0,104166667 |
| 1371354 | Berço 211 | 3,236111111 | 0,083333333 | 4,604166667 | 0,102777778 |
| 1340201 | Berço 209 | 2,463888889 | 0,076388889 | 2,315972222 | 0,100694444 |
| 1403506 | Berço 211 | 38,38541667 | 0,069444444 | 2,145833333 | 0,072916667 |
| 1342717 | Berço 211 | 3,315972222 | 0,083333333 | 4,079861111 | 0,135416667 |
| 1366669 | Berço 209 | 3,115277778 | 0,204861111 | 5,263888889 | 0,380555556 |
| 1387323 | Berço 208 | 23,5625 | 0,0625 | 7,336805556 | 0,069444444 |
| 1403497 | Berço 208 | 38,25 | 0,090277778 | 4,75 | 0,142361111 |
| 1403538 | Berço 211 | 41,01736111 | 0,277777778 | 5,013888889 | 0,114583333 |
| 1339508 | Berço 211 | 11,75138889 | 0,194444444 | 7,739583333 | 0,118055556 |
| 1349119 | Berço 209 | 7,5625 | 0,220138889 | 3,203472222 | 0,086805556 |
| 1371352 | Berço 211 | 3,413194444 | 0,038194444 | 3,517361111 | 0,027777778 |
| 1359141 | Berço 209 | 2,413194444 | 0,079861111 | 4,760416667 | 0,28125 |
| 1340202 | Berço 211 | 0,203472222 | 0,184027778 | 6,583333333 | 0,09375 |
| 1412798 | Berço 211 | 39,75347222 | 0,166666667 | 2,375 | 0,09375 |
| 1403505 | Berço 211 | 40,10069444 | 0,34375 | 4,013888889 | 0,113194444 |
| 1342706 | Berço 211 | 8,465277778 | 0,159722222 | 2,274305556 | 0,125 |

Continua na próxima página

Tabela A.1: Dados das atracções dos navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | TEspera Atra- cação (dias) | TEspera Início Op (dias) | TOperação (dias) | TEspera Desatraca- ção (dias) |
|--------------------|--------------|---|---|-----------------------------|--|
| 1340070 | Berço 211 | 3,452777778 | 0,077777778 | 1,510416667 | 0,14375 |
| 1340194 | Berço 209 | 4,575 | 0,118055556 | 5,770833333 | 0,097222222 |
| 1349121 | Berço 211 | 1,538194444 | 0,065972222 | 2,802083333 | 0,111111111 |
| 1376095 | Berço 208 | 6,491666667 | 0,128472222 | 1,149305556 | 0,079861111 |
| 1340192 | Berço 208 | 7,339583333 | 0,172916667 | 3,455555556 | 0,09375 |
| 1362975 | Berço 211 | 3,645833333 | 0,086805556 | 10,23263889 | 0,119444444 |
| 1333092 | Berço 209 | 0,213888889 | 0,1125 | 7,496527778 | 0,102777778 |
| 1366662 | Berço 211 | 0,125 | 0,161111111 | 5,977777778 | 0,104166667 |
| 1339491 | Berço 211 | 9,875 | 0,040277778 | 0,26875 | 0,090277778 |
| 1403511 | Berço 208 | 38,92013889 | 0,069444444 | 4,892361111 | 0,121527778 |
| 1333095 | Berço 211 | 0,393055556 | 0,065277778 | 3,53125 | 0,100694444 |
| 1342712 | Berço 211 | 3,333333333 | 0,059027778 | 3,798611111 | 0,090277778 |
| 1360321 | Berço 208 | 3,140277778 | 0,125 | 7,993055556 | 0,027777778 |
| 1339494 | Berço 211 | 4,184027778 | 0,000694444 | 6,589583333 | 0,084722222 |
| 1342711 | Berço 209 | 8,159722222 | 0,068055556 | 4,605555556 | 0,097222222 |
| 1349120 | Berço 209 | 2,374305556 | 0,04375 | 4,779166667 | 0,09375 |
| 1349910 | Berço 209 | 3,9875 | 0,125 | 4,361111111 | 0,090277778 |
| 1349124 | Berço 208 | 6,883333333 | 0,076388889 | 1,347222222 | 0,111111111 |
| 1339483 | Berço 209 | 5,552083333 | 0,055555556 | 3,121527778 | 0,114583333 |
| 1339492 | Berço 208 | 6,219444444 | 0,138888889 | 6,34375 | 0,097222222 |
| 1339495 | Berço 209 | 10,03194444 | 0,086805556 | 6,75 | 1,100694444 |
| 1339496 | Berço 208 | 5,065972222 | 0,083333333 | 3,253472222 | 0,111111111 |
| 1339507 | Berço 208 | 5,256944444 | 0,127777778 | 1,944444444 | 0,075694444 |
| 1339509 | Berço 209 | 7,44375 | 0,002777778 | 6,007638889 | 0,125 |
| 1387322 | Berço 208 | 27,39583333 | 0,038194444 | 7,190972222 | 0,111111111 |
| 1359139 | Berço 208 | 0,493055556 | 0,104166667 | 3,444444444 | 0,142361111 |
| 1376098 | Berço 208 | 12,66319444 | 0,097222222 | 3,861111111 | 0,114583333 |

Continua na próxima página

Tabela A.1: Dados das atracações dos navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | TEspera Atra- cação (dias) | TEspera Início Op (dias) | TOperação (dias) | TEspera Desatraca- ção (dias) |
|--------------------|--------------|---|---|-----------------------------|--|
| 1340197 | Berço 209 | 2,461805556 | 0,065972222 | 5,934027778 | 0,111111111 |
| 1340199 | Berço 208 | 1,221527778 | 0,229861111 | 9,009027778 | 0,132638889 |
| 1340200 | Berço 208 | 6,036805556 | 0,09375 | 1,090277778 | 0,111111111 |
| 1340206 | Berço 209 | 1,649305556 | 0,083333333 | 2,861111111 | 0,097222222 |
| 1340209 | Berço 211 | 2,627083333 | 0,072916667 | 5,309027778 | 0,09375 |
| 1360325 | Berço 209 | 5,274305556 | 0,074305556 | 3,963888889 | 0,086805556 |
| 1355151 | Berço 208 | 9,933333333 | 0,166666667 | 4,791666667 | 0,201388889 |
| 1341053 | Berço 208 | 8,18125 | 0,079861111 | 3,645833333 | 0,090277778 |
| 1333094 | Berço 211 | 4,760416667 | 0,211805556 | 1,743055556 | 0,059027778 |
| 1345373 | Berço 208 | 9,395138889 | 0,309027778 | 2,4375 | 0,149305556 |
| 1355465 | Berço 211 | 0,333333333 | 0,163194444 | 4,611111111 | 0,088194444 |
| 1412796 | Berço 209 | 37,67708333 | 0,086805556 | 4,815972222 | 0,092361111 |
| 1333099 | Berço 211 | 0,565972222 | 0,208333333 | 4,857638889 | 0,0625 |
| 1387327 | Berço 209 | 29,56944444 | 0,059027778 | 12,572916667 | 0,140277778 |
| 1343385 | Berço 211 | 0,704861111 | 0,145833333 | 3,756944444 | 0,090277778 |
| 1403510 | Berço 208 | 41,05902778 | 0,107638889 | 2,534722222 | 0,076388889 |
| 1403498 | Berço 208 | 39,45347222 | 0,149305556 | 6,297222222 | 0,140277778 |
| 1412795 | Berço 211 | 43,29861111 | 0,057638889 | 9,091666667 | 0,086805556 |
| 1371353 | Berço 209 | 3,375 | 0,388888889 | 2,142361111 | 0,194444444 |
| 1361011 | Berço 211 | 6,584722222 | 0,045138889 | 2,774305556 | 0,107638889 |
| 1342703 | Berço 209 | 9,864583333 | 0,121527778 | 1,298611111 | 0,097222222 |
| 1342704 | Berço 211 | 8,148611111 | 0,118055556 | 3,440972222 | 0,086805556 |
| 1342707 | Berço 208 | 14,94097222 | 0,048611111 | 6,163194444 | 0,083333333 |
| 1342708 | Berço 211 | 8,55 | 0,120138889 | 4,072916667 | 0,09375 |
| 1342709 | Berço 209 | 8,045138889 | 0,184027778 | 5,263888889 | 0,125 |
| 1342715 | Berço 209 | 4 | 0,090277778 | 5,652777778 | 0,09375 |
| 1333084 | Berço 208 | 0,245138889 | 0,163194444 | 7,399305556 | 0,146527778 |

Continua na próxima página

Tabela A.1: Dados das atracções dos navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | TEspera Atra- cação (dias) | TEspera Início Op (dias) | TOperação (dias) | TEspera Desatraca- ção (dias) |
|--------------------|--------------|---|---|-----------------------------|--|
| 1403507 | Berço 209 | 40,5 | 0,083333333 | 10,92013889 | 0,045138889 |
| 1376096 | Berço 209 | 3,4375 | 0,086805556 | 5,600694444 | 0,145833333 |
| 1376097 | Berço 211 | 7,059027778 | 0,135416667 | 10,00347222 | 0,09375 |
| 1376100 | Berço 209 | 15,00347222 | 0,090277778 | 3,28125 | 0,090277778 |
| 1376101 | Berço 208 | 4,791666667 | 0,166666667 | 2,704861111 | 0,416666667 |
| 1376102 | Berço 209 | 14,42430556 | 0,059027778 | 4,555555556 | 0,145833333 |
| 1376104 | Berço 211 | 17,88263889 | 0,088194444 | 7,729166667 | 0,090277778 |
| 1359136 | Berço 208 | 9,086111111 | 0,177777778 | 5,496527778 | 0,100694444 |
| 1359138 | Berço 209 | 0,1875 | 0,090277778 | 6,930555556 | 0,149305556 |
| 1359142 | Berço 208 | 1,825 | 0,040972222 | 3,859722222 | 0,10625 |
| 1349122 | Berço 209 | 4,734027778 | 1,144444444 | 3,368055556 | 0,097222222 |
| 1333085 | Berço 209 | 2,549305556 | 0,120833333 | 3,225694444 | 0,075694444 |
| 1360322 | Berço 211 | 1,892361111 | 0,079861111 | 3,090277778 | 0,045138889 |
| 1349908 | Berço 208 | 4,989583333 | 0,110416667 | 3,041666667 | 0,086805556 |
| 1366663 | Berço 209 | 3,157638889 | 0,090277778 | 8,082638889 | 0,076388889 |
| 1349126 | Berço 208 | 5,09375 | 0,024305556 | 1,885416667 | 0,104166667 |
| 1349907 | Berço 211 | 4,739583333 | 0,045138889 | 3,829861111 | 0,104166667 |
| 1367160 | Berço 211 | 9,59375 | 0,054166667 | 5,751388889 | 0,086805556 |
| 1381987 | Berço 208 | 3,314583333 | 0,083333333 | 11,38541667 | 0,16875 |
| 1381988 | Berço 209 | 3,489583333 | 0,402777778 | 7,002083333 | 0,109027778 |
| 1381989 | Berço 211 | 13,49305556 | 0,038194444 | 1,496527778 | 0,090277778 |
| 1382136 | Berço 208 | 12,61458333 | 0,0625 | 2,822916667 | 0,100694444 |
| 1382135 | Berço 211 | 15,09027778 | 0,065972222 | 4,871527778 | 0,118055556 |
| 1403504 | Berço 209 | 34,96527778 | 0,100694444 | 6,1875 | 0,079861111 |
| 1333089 | Berço 211 | 1,701388889 | 0,052083333 | 4,930555556 | 0,128472222 |
| 1366665 | Berço 211 | 4,042361111 | 0,0625 | 2,274305556 | 0,097222222 |
| 1366666 | Berço 211 | 5,421527778 | 0,045138889 | 7,207638889 | 0,036111111 |

Continua na próxima página

Tabela A.1: Dados das atracações dos navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | TEspera Atra- cação (dias) | TEspera Início Op (dias) | TOperação (dias) | TEspera Desatraca- ção (dias) |
|--------------------|--------------|---|---|-----------------------------|--|
| 1387330 | Berço 211 | 22,77430556 | 0,09375 | 8,548611111 | 0,111111111 |
| 1384301 | Berço 209 | 3,544444444 | 0,120833333 | 7,107638889 | 0,072916667 |
| 1412799 | Berço 211 | 37,06944444 | 0,055555556 | 2,241666667 | 0,05 |
| 1412802 | Berço 209 | 36,23958333 | 0,077777778 | 6,713888889 | 0,038194444 |
| 1403779 | Berço 208 | 35,59583333 | 0,055555556 | 1,201388889 | 1,607638889 |
| 1387324 | Berço 208 | 14,60416667 | 0,079861111 | 7,559027778 | 0,151388889 |
| 1367161 | Berço 209 | 13,88819444 | 0,035416667 | 2,904166667 | 0,098611111 |
| 1387331 | Berço 211 | 26,07291667 | 0,090277778 | 3,274305556 | 0,114583333 |
| 1387333 | Berço 211 | 24,88402778 | 0,138888889 | 7,302083333 | 0,100694444 |
| 1403508 | Berço 208 | 33,69444444 | 0,055555556 | 3,659722222 | 0,118055556 |
| 1403503 | Berço 211 | 41,36111111 | 0,065972222 | 12,65625 | 0,097222222 |
| 1403509 | Berço 211 | 34,01388889 | 0,083333333 | 3,094444444 | 0,065277778 |
| 1412792 | Berço 209 | 39,49375 | 0,335416667 | 12,05208333 | 0,102777778 |
| 1387321 | Berço 208 | 18,83680556 | 0,118055556 | 7,524305556 | 0,076388889 |
| 1387326 | Berço 209 | 10,67013889 | 0,218055556 | 9,229861111 | 0,1125 |
| 1412794 | Berço 208 | 38,66666667 | 0,076388889 | 2,236111111 | 0,090277778 |
| 1412793 | Berço 209 | 44,18402778 | 0,052083333 | 2,600694444 | 0,114583333 |
| 1389066 | Berço 211 | 28,52638889 | 0,038194444 | 1,510416667 | 0,194444444 |
| 1412800 | Berço 208 | 33,18888889 | 0,09375 | 3,184027778 | 0,069444444 |
| 1412797 | Berço 208 | 40,84027778 | 0,225694444 | 5,857638889 | 0,107638889 |
| 1412801 | Berço 211 | 33,85347222 | 0,085416667 | 4,838194444 | 0,010416667 |
| 1413203 | Berço 208 | 38,82222222 | 0,006944444 | 7,152777778 | 0,128472222 |
| 1413204 | Berço 209 | 36,9375 | 0,097916667 | 7,624305556 | 0,09375 |
| 1413208 | Berço 209 | 40,18194444 | 0,072916667 | 5,392361111 | 0,118055556 |

APÊNDICE B – Cargas dos Navios Atracados no Terminal 'Corredor de Fertilizantes' em 2023

A seguir, apresenta-se a tabela com as informações das cargas transportadas pelos navios que atracaram no terminal 'Corredor de Fertilizantes' durante o ano de 2023.

Tabela B.1: Dados das cargas dos navios atracados no
Porto de Paranaguá

| IDAtracacao | Berço | Mercadoria |
|-------------|-----------|---|
| 1387409 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1387325 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1349909 | Berço 208 | Cevada |
| 1340196 | Berço 211 | Sal (incluídos o sal de mesa e o sal desnaturado) e cloreto de sódio puro, mesmo em solução aquosa ou adicionados de agentes antiaglomerantes |
| 1334336 | Berço 208 | Cevada |
| 1339505 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1334334 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1403501 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1339482 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1403500 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1342714 | Berço 211 | Sal (incluídos o sal de mesa e o sal desnaturado) e cloreto de sódio puro, mesmo em solução aquosa ou adicionados de agentes antiaglomerantes |
| 1333075 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |

Continua na próxima página

Tabela B.1: Dados das atracações de navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | Mercadoria |
|--------------------|--------------|---|
| 1334329 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1349123 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1366664 | Berço 208 | Açúcares de cana ou de beterraba e sacarose quimicamente pura, no estado sólido |
| 1359137 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogénio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1334341 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogénio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1334338 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1339497 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1349906 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1342713 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1342716 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1413206 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1403502 | Berço 208 | Malte, mesmo torrado |
| 1366668 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1334335 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1334332 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1334331 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1381986 | Berço 208 | Cevada |
| 1349905 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |

| |
|----------------------------|
| Continua na próxima página |
|----------------------------|

Tabela B.1: Dados das atracações de navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | Mercadoria |
|--------------------|--------------|--|
| 1333087 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogénio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes, |
| 1333093 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1340208 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogénio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes, |
| 1359140 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1345339 | Berço 208 | Tractores (exceto os da posição 8709) |
| 1334339 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1349118 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1334333 | Berço 209 | Trigo e mistura de trigo com centeio |
| 1360323 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1342705 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1333100 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1345338 | Berço 208 | Papel e cartão kraft, não revestidos, em rolos ou em folhas, exceto das posições 4802 e 4803 |
| 1333074 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |

| |
|----------------------------|
| Continua na próxima página |
|----------------------------|

Tabela B.1: Dados das atracações de navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | Mercadoria |
|--------------------|--------------|---|
| 1333073 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1333088 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1340205 | Berço 208 | Trigo e mistura de trigo com centeio |
| 1413202 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1334327 | Berço 208 | Cevada |
| 1333072 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1360324 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1340190 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1340195 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1376103 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1339490 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1333098 | Berço 211 | Cábreas; guindastes, incluídos os de cabos; pontes rolantes, pórticos de descarga e de movimentação, pontes-guindastes, carros-pórticos, carros-guindastes |

| |
|----------------------------|
| Continua na próxima página |
|----------------------------|

Tabela B.1: Dados das atracações de navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | Mercadoria |
|--------------------|--------------|---|
| 1333086 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1334328 | Berço 211 | Trigo e mistura de trigo com centeio |
| 1403496 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1334330 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1334340 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1359135 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1339503 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1412791 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1387329 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1340189 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1339485 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1413205 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1387332 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1340207 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1340204 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1339484 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1403499 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1339502 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1339504 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1342710 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1340191 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1371354 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |

| |
|----------------------------|
| Continua na próxima página |
|----------------------------|

Tabela B.1: Dados das atracações de navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | Mercadoria |
|--------------------|--------------|---|
| 1340201 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1403506 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1342717 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1366669 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1387323 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1403497 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1403538 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1339508 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1349119 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1371352 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1359141 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1340202 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1412798 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1403505 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1342706 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1340070 | Berço 211 | Papel e cartão kraft, não revestidos, em rolos ou em folhas, exceto das posições 4802 e 4803 |
| 1340194 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |

| |
|----------------------------|
| Continua na próxima página |
|----------------------------|

Tabela B.1: Dados das atracações de navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | Mercadoria |
|--------------------|--------------|---|
| 1349121 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1376095 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1340192 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1362975 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1333092 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1366662 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1339491 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1403511 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1333095 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1342712 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1360321 | Berço 208 | Tortas e outros resíduos sólidos da extração do óleo de soja |
| 1339494 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1342711 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1349120 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1349910 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1349124 | Berço 208 | Fosfatos de cálcio naturais, fosfatos aluminocálcicos naturais e cré fosfatado |

| |
|----------------------------|
| Continua na próxima página |
|----------------------------|

Tabela B.1: Dados das atracações de navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | Mercadoria |
|--------------------|--------------|---|
| 1339483 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1339492 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1339495 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1339496 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1339507 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1339509 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1387322 | Berço 208 | Fosfatos de cálcio naturais, fosfatos aluminocálcicos naturais e cré fosfatado |
| 1359139 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1376098 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1340197 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1340199 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1340200 | Berço 208 | Malte, mesmo torrado |
| 1340206 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |

| |
|----------------------------|
| Continua na próxima página |
|----------------------------|

Tabela B.1: Dados das atracações de navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | Mercadoria |
|--------------------|--------------|---|
| 1340209 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1360325 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1355151 | Berço 208 | Tortas e outros resíduos sólidos da extração do óleo de soja |
| 1341053 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1333094 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1345373 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1355465 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1412796 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1333099 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1387327 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1343385 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1403510 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1403498 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |

| |
|----------------------------|
| Continua na próxima página |
|----------------------------|

Tabela B.1: Dados das atracações de navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | Mercadoria |
|--------------------|--------------|---|
| 1412795 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1371353 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1361011 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1342703 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1342704 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1342707 | Berço 208 | Fosfatos de cálcio naturais, fosfatos aluminocálcicos naturais e cré fosfatado |
| 1342708 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogênio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes |
| 1342709 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1342715 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |

| |
|----------------------------|
| Continua na próxima página |
|----------------------------|

Tabela B.1: Dados das atracações de navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | Mercadoria |
|--------------------|--------------|--|
| 1333084 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1403507 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1376096 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1376097 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1376100 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogénio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes, |
| 1376101 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1376102 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1376104 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1359136 | Berço 208 | Malte, mesmo torrado |
| 1359138 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1359142 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1349122 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1333085 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1360322 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1349908 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1366663 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1349126 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogénio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes, |
| 1349907 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1367160 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1381987 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1381988 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1381989 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |

| |
|----------------------------|
| Continua na próxima página |
|----------------------------|

Tabela B.1: Dados das atracações de navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | Mercadoria |
|--------------------|--------------|--|
| 1382136 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1382135 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1403504 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1333089 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogénio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes, |
| 1366665 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogénio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes, |
| 1366666 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1387330 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1384301 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1412799 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogénio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes, |
| 1412802 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1403779 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1387324 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1367161 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1387331 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |

| |
|----------------------------|
| Continua na próxima página |
|----------------------------|

Tabela B.1: Dados das atracações de navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | Mercadoria |
|--------------------|--------------|--|
| 1387333 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogénio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes, |
| 1403508 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, fosfatados |
| 1403503 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1403509 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1412792 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1387321 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogénio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes, |
| 1387326 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1412794 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1412793 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1389066 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogénio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes, |
| 1412800 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, potássicos |
| 1412797 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogénio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes, |
| 1412801 | Berço 211 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |
| 1413203 | Berço 208 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |

| |
|----------------------------|
| Continua na próxima página |
|----------------------------|

Tabela B.1: Dados das atracações de navios no Porto de Paranaguá (continuação)

| IDAtracacao | Berço | Mercadoria |
|--------------------|--------------|--|
| 1413204 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos seguintes elementos fertilizantes: azoto (nitrogénio), fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes); produtos do presente capítulo apresentados em tabletes ou formas semelhantes, |
| 1413208 | Berço 209 | Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, azotados |