



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO

**ANÁLISE DE CAPACIDADE DO TECON  
SALVADOR UTILIZANDO SIMULAÇÃO DE  
EVENTOS DISCRETOS**

Leonardo Ramos

Orientador: Alexandre Hering Coelho

**FLORIANÓPOLIS, 2019**

Leonardo Ramos

**ANÁLISE DE CAPACIDADE DO TECON SALVADOR  
UTILIZANDO SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS**

**Trabalho de Conclusão de Curso sub-  
metido à Universidade Federal de  
Santa Catarina como requisito necessá-  
rio para obtenção do grau de Bacharel  
em Engenharia Civil**

Florianópolis, 2019

FICHA

Leonardo Ramos

**ANÁLISE DE CAPACIDADE DO TECON SALVADOR UTILIZANDO  
SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS**

**Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia Civil, sendo aprovado em sua forma  
final pela banca examinadora:**

---

Orientador(a): Prof. Dr. Alexandre Hering  
Coelho  
Universidade Federal de Santa Catarina -  
UFSC

---

Prof. Dr. Luciana Rohde  
Universidade Federal de Santa Catarina -  
UFSC

---

Eng. Me. Yuri Triska

# Agradecimentos

Agradeço, em especial, aos meus pais, pelo apoio e amor incondicional, fundamental para cumprir minha missão! A minha querida irmã, eterna parceira da vida! Aos meus avós, por enriquecerem minha trajetória que será guardada em minha memória! A todos os familiares, por fazerem parte da minha vida com suas atitudes nobres! A Deus, porque para ELE e por ELE são todas as coisas!

Ao professor Alexandre Coelho Hering, pela orientação técnica e acadêmica que me concedeu e a também a todo corpo docente da universidade.

A todos os amigos do LabTrans e de RoadLabs, pelos dias de trabalho produtivo, busca por soluções, compartilhamento de técnicas, profissionalismo e organização compartilhados.

Aos meus amigos e colegas de classe, pela troca de experiências, idéias e conhecimentos obtidos na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a qual tive o prazer de fazer parte.



*“Se eu vi mais longe ...  
foi por estar sobre ombros de gigantes...“*  
*Sir Isaac Newton*



# Resumo

O modo hidroviário de transporte é o modo mais econômico no translado de cargas. No entanto, um dos pontos fracos na escolha por esse meio é a necessidade de transporte adicional nas ponta dos elos, ou seja, necessidade de utilização de terminais portuários para operação de transbordo. Nesse contexto, a simulação de eventos torna-se uma ferramenta útil para auxílio em tomadas de decisão, no monitoramento de indicadores operacionais e de desempenho. O presente estudo visa criar e analisar um modelo de simulação de eventos discretos para o cálculo da capacidade de movimentação portuária no TECON Salvador, ou seja, calcular através de simulação de eventos o volume que pode ser operada por um porto ou terminal correspondendo a uma espera média das embarcações que resulte no menor custo global.

**Palavras-chave:** Capacidade de movimentação portuária, simulação a eventos discretos.



# Abstract

The most economic way of load transportation is through waterway transportation. However, one of the weak spots in choosing this way of transportation is the need for additional transportation on links, that means need for using portuary terminals for transhipment operations. In this concept, the simulation of events becomes a useful tool, aiding on decision-making, monitoring the operational indicators and checking on the performance of quays. This study intends to create and analyze on discrete event simulation model for calculus on the port network traffic capacity at Salvador Terminal of Containers, what means, getting from events simulation the volume that can be handled by a port or terminal that results in the middle waiting time of the ships aiming to achieve the minor global cost.

**Keywords:** Port network traffic capacity, discrete event simulation.



# Listas de ilustrações

Figura 1 – Divisão modal do transporte inter-regional brasileiro . . . . .	2
Figura 2 – Variação dos custos por etapa - transporte hidroviário . . . . .	3
Figura 3 – Exemplo de gráfico WT/ST vs. <i>Outflow</i> . . . . .	11
Figura 4 – Função contínua vs. função discreta . . . . .	12
Figura 5 – Localização e zoneamento do Porto de Salvador . . . . .	14
Figura 6 – Média de precipitação e de temperaturas máximas e mínimas . . . . .	15
Figura 7 – Obras de abrigo do Porto de Salvador . . . . .	16
Figura 8 – Berços do Porto de Salvador . . . . .	17
Figura 9 – Expansão do TECON Salvador . . . . .	20
Figura 10 – Movimentação no Porto de Salvador nos últimos 4 anos . . . . .	21
Figura 11 – Perfil de movimentação de carga no Porto de Salvador (2018) . . . . .	21
Figura 12 – Fluxo operacional dos contêineres no TECON Salvador - Embarque. . . . .	24
Figura 13 – Mapeamento dos processos envolvidos na operação portuária . . . . .	27
Figura 14 – Distribuição dos registros de tempo entre chegadas de navios (2015-2018) . . . . .	30
Figura 15 – Análise de distribuição dos registros de tempo entre chegadas sucessivas (2015-2018) . . . . .	30
Figura 16 – Distribuição dos registros de lotes movimentados no Berço 611 (2015-2018) . . . . .	31
Figura 17 – Análise de distribuição dos registros de lotes no Berço 611 (2015-2018) . . . . .	31
Figura 18 – Distribuição dos registros de produtividades no Berço 611 (2015-2018) . . . . .	32
Figura 19 – Análise de distribuição dos registros de produtividades no Berço 611 (2015-2018) . . . . .	32
Figura 20 – Distribuição dos registros de tempos pré-operacionais no Berço 611 (2015-2018) . . . . .	33
Figura 21 – Análise de distribuição dos registros de tempos pré-operacionais no Berço 611 (2015-2018) . . . . .	33
Figura 22 – Distribuição dos registros de tempos pós-operacionais no Berço 611 (2015-2018) . . . . .	34
Figura 23 – Análise de distribuição dos registros de tempos pós-operacionais no Berço 611 (2015-2018) . . . . .	34
Figura 24 – Distribuição dos registros de lotes movimentados no Berço 300 (2015-2018) . . . . .	35
Figura 25 – Análise de distribuição dos registros de lotes no Berço 300 (2015-2018) . . . . .	35
Figura 26 – Distribuição dos registros de produtividades no Berço 300 (2015-2018) . . . . .	36
Figura 27 – Análise de distribuição dos registros de produtividades no Berço 300 (2015-2018) . . . . .	36
Figura 28 – Distribuição dos registros de tempos pré-operacionais no Berço 300 (2015-2018) . . . . .	37

Figura 29 – Análise de distribuição dos registros de tempos pré-operacionais no Berço 300 (2015-2018) . . . . .	37
Figura 30 – Distribuição dos registros de tempos pós-operacionais no Berço 300 (2015-2018) . . . . .	38
Figura 31 – Análise de distribuição dos registros de tempos pós-operacionais no Berço 300 (2015-2018) . . . . .	38
Figura 32 – Distribuição dos registros de tempos de atracação no Berço 300 (2015-2018) . . . . .	39
Figura 33 – Análise de distribuição dos registros de tempos pós-operacionais (2015-2018) . . . . .	39
Figura 34 – Distribuição dos registros de tempos de atracação nos demais berços do Porto de Salvador (2015-2018) . . . . .	40
Figura 35 – Análise de distribuição dos registros de tempos de atracação nos demais berços do Porto de Salvador (2015-2018) . . . . .	41
Figura 36 – Resultados do modelo de simulação para cenário atual . . . . .	43
Figura 37 – Comportamento do sistema simulado para variações de demanda . . . . .	45
Figura 38 – Comportamento do sistema com expansão simulado para variações de demanda . . . . .	47

# **Lista de tabelas**

Tabela 1 – Preços de fretes através do Atlântico . . . . .	1
Tabela 2 – Máximas dimensões autorizadas para o Porto de Salvador . . . . .	16
Tabela 3 – Cabeços de amarração disponíveis no Porto de Salvador . . . . .	18
Tabela 4 – Equipamentos de cais e natureza operada nos trechos de cais . . . . .	18
Tabela 5 – Armazéns do Porto de Salvador . . . . .	19
Tabela 6 – Destinação operacional do Porto de Salvador de 2015 a 2018 . . . . .	23
Tabela 7 – Indicadores operacionais dos contêineres no Berço 611 . . . . .	24
Tabela 8 – Indicadores operacionais dos contêineres no Berço 300 . . . . .	25
Tabela 9 – Tempo médio de atracação de outras cargas no Berço 300 . . . . .	25
Tabela 10 – Tempo médio de atracação de outras cargas que requisitam o canal de acesso . . . . .	25
Tabela 11 – Comparação das métricas de desempenho reais e simuladas . . . . .	44
Tabela 12 – Comparação das métricas de desempenho reais e simuladas . . . . .	46



# List of abbreviations and acronyms

<i>ANTAQ</i>	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
<i>CODEBA</i>	Companhia Docas do Estado da Bahia
<i>IMO</i>	<i>International Maritime Organization</i>
<i>LabTrans</i>	Laboratório de Transportes e Logística
<i>LOA</i>	<i>Length Overall</i>
<i>MIT</i>	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
<i>MTPA</i>	Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil
<i>PIANC</i>	<i>Permanent International Association of Navigation Congresses</i>
<i>RTG</i>	<i>Rubber Tyred Gantry</i>
<i>SNP</i>	Secretaria Nacional de Portos
<i>TECON</i>	Terminal de contêineres
<i>TEU</i>	<i>Twenty-foot Equivalent Unit</i>
<i>TPB</i>	Toneladas de Porte Bruto
<i>TUP</i>	Terminal de Uso Privado
<i>UFSC</i>	Universidade Federal de Santa Catarina



# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	<b>Objetivo</b>	<b>4</b>
1.1.1	Objetivos específicos	5
1.2	<b>Organização</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>7</b>
2.1	<b>Capacidade portuária</b>	<b>7</b>
2.1.1	Métricas para a construção do modelo	9
2.1.2	Métricas de desempenho portuário	10
2.2	<b>Simulação de eventos discretos</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>PORTO DE SALVADOR</b>	<b>13</b>
3.1	<b>Localização e características geográficas</b>	<b>13</b>
3.2	<b>Infraestrutura</b>	<b>15</b>
3.2.1	Projetos e expansões	19
3.3	<b>Movimentação</b>	<b>20</b>
3.4	<b>Operações</b>	<b>22</b>
3.4.1	Destinação operacional	23
3.4.2	Apectos operacionais	23
3.5	<b>Desempenho do Sistema Portuário</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>MODELO DE CÁLCULO</b>	<b>27</b>
4.1	<b>Análise de distribuições para construção do modelo</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>43</b>
5.1	<b>Cenário atual</b>	<b>43</b>
5.2	<b>Comportamento do sistema atual</b>	<b>44</b>
5.3	<b>Cenário demanda atual e expansão de infraestrutura</b>	<b>46</b>
5.4	<b>Comportamento do sistema com Expansão</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>51</b>

**ANEXOS** **53**

**ANEXO A – SCRIPT DE SIMULAÇÃO . . . . .** **55**

# 1 Introdução

O transporte marítimo qualifica-se como o modo mais econômico de translado de cargas. Ligteringen (1999) quantifica as taxas de frete através do oceano Atlântico mostradas na tabela 1.

Tabela 1 – Preços de fretes através do Atlântico

Modo de Transporte	Tempo de Translado	Preço (US\$/kg)
Aéreo Premium	2-3	3,3
Aéreo Standart	4-7	1-1,19
Navegação	14-28	0,13-0,26

Fonte: Ligteringen (1999)

O Brasil possui 7.367 km de linha costeira voltada para o oceano Atlântico e mais de 20.000 km de vias fluviais em condições navegáveis (ALFREDINI, 2009). Essas características, aliadas à extensão territorial brasileira e às características de ocupação populacional concentradas no litoral corroboram para o crescimento da utilização do modo hidroviário no transporte de cargas.

No entanto, embora pareça natural que a utilização da navegação de cabotagem e interior seja importante no Brasil, não é isso que ocorre. O que se observa, atualmente, é que a navegação de cabotagem transporta um pouco menos de 11% da carga no país, mesmo sendo o meio de transporte mais competitivo, menos poluente e que tem o menor número de acidentes (TEIXEIRA et al., 2018).

Segundo Brasil (2015), a divisão modal do transporte inter-regional de cargas no Brasil tem o modo rodoviário como mais representativo, ferroviário como segundo e a cabotagem e navegação de interior como terceiro e quarto respectivamente. A figura 1 exibe a divisão modal.

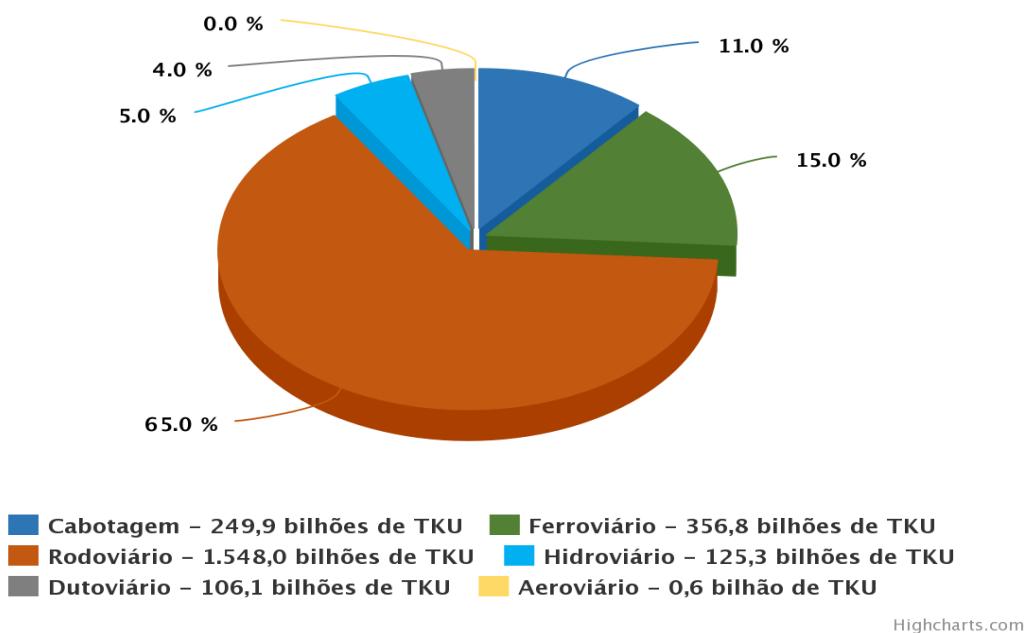


Figura 1 – Divisão modal do transporte inter-regional brasileiro

Fonte: Brasil (2015)

O transporte marítimo sofre concorrência com outros modos, sendo o transporte rodoviário o principal deles. Mais uma vez, o modo de transporte aéreo é bem diferente dos outros em termos da taxa de frete. Mas os transportes marítimos, rodoviários, ferroviários e de navegação interior estão na mesma faixa de custos e, portanto, em competição (LIGTERINGEN, 1999).

O transporte marítimo tem a desvantagem em comparação com modo rodoviário por necessitar frequentemente de transporte adicional entre o porto e o destino final. Isso cria dois elos extras na cadeia, a movimentação nos terminais de origem e destino (*loading/unloading/storage*), o que aumenta os custos, o tempo e a falta de confiabilidade e diminui a atratividade do modo de transporte. A figura 2 demonstra de forma esquemática o que foi citado.

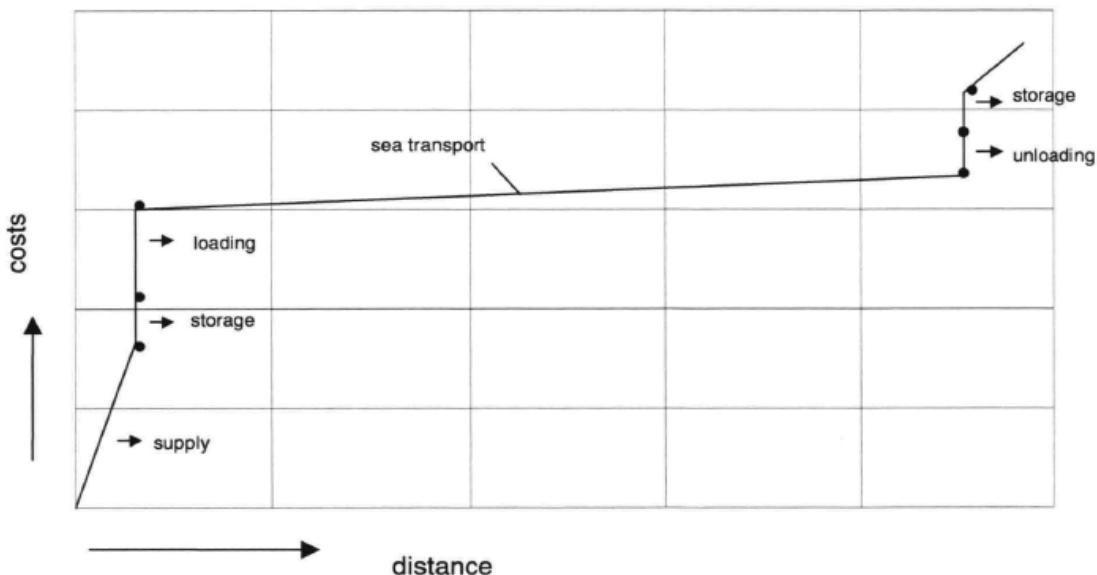


Figura 2 – Variação dos custos por etapa - transporte hidroviário

Fonte: Ligteringen (1999)

Nesse sentido, o estudo do desempenho da rede de operações portuárias é a chave para uma cadeia de fornecimento eficiente, que reduz os custos inerentes ao terminal e retoma a atratividade do modo hidroviário (OLBA et al., 2015).

A forma como as operações portuárias são realizadas afeta diretamente a capacidade de um porto, pois tem relação direta com a produtividade das movimentações (TRISKA, 2015).

## Revolução 4.0

A adoção de tecnologias digitais de gestão de informação e conhecimento de processos avançam rapidamente em todos os segmentos industriais, assim como nos terminais portuários brasileiros. Conceitos da chamada *Revolução 4.0* influenciam tendências a serem aplicadas nos portos nos próximos anos. Os terminais que não acompanharem as mudanças correm risco de ficar para trás e perder competitividade (OLIVEIRA, 2018).

O Porto-Sem-Papel (PSP), por exemplo, é uma ferramenta de integração de dados que tem como objetivo reunir em único lugar todas as informações e documentações necessárias para a análise e liberação das mercadorias nos portos brasileiros. Todas essas informações são agregadas em um único documento eletrônico, o Documento Único Virtual (DUV), e podem ser transmitidas automaticamente pelo sistema.

Segundo Brasil (2019), o PSP já está implementado nos 34 portos públicos brasileiros. A nova fase de implantação do PSP abrange agora os Terminais de Uso Privado (TUPs). Os primeiros terminais a implantarem o sistema foram os de Chibatão e Super Terminais, no Amazonas. Depois mais oito aderiram, cinco em Santa Catarina, um no Rio

de Janeiro e dois no Pará.

Outra ferramenta ligada ao desenvolvimento tecnológico portuário é o *Vessel Traffic Management Information System (VTMIS)*, em português, *Sistema de Gerenciamento e Informação do Tráfego de Embarcações*, é um sistema de auxílio eletrônico à navegação, com capacidade para prover a monitoração ativa do tráfego aquaviário. O objetivo do sistema é garantir a segurança nas manobras efetuadas pelas embarcações.

Os portos a serem contemplados na primeira fase de implantação são os portos de Rio de Janeiro (RJ), Itaguaí (RJ), Santos (SP), Salvador e Aratu (BA) e Vitória (ES).

No porto de Vitória, o VTMIS entrou em operação em junho de 2019. De outubro a dezembro de 2018 o VTMIS prestou assistência aos navios, evitando acidentes marítimos; acionou os órgãos responsáveis por auxílio; transmitiu informações de tráfego aos comandantes para controle de situações e atendeu pedidos de socorro às embarcações próximas dos fatos ocorridos.

Em Salvador e Aratu, porém, a implantação depende da liberação de recursos do Orçamento da União.<sup>1</sup>

Nesse contexto, emerge a importância da simulação para a análise e o diagnóstico de alternativas e ao processo de tomada de decisão, permitindo a manipulação, a avaliação e a validação das variáveis que compõem um sistema, ou um modelo deste, com o intuito de determinar seu comportamento e as mudanças necessárias (FRIGERI; BIACHI; BACKES, 2018).

Além disso, a simulação permite, por meio de análises, avaliar os resultados que serão encontrados em situações reais, ampliando a compreensão do comportamento de sistemas ou mesmo avaliar as estratégias frente a fatos dos quais não se consegue vislumbrar os resultados finais ou a totalidade de suas implicações.

## 1.1 Objetivo

O objetivo do presente estudo é OBTER UM MODELO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA OPERAÇÃO PORTUÁRIA QUE OCORRE NOS BERÇOS DO TECON SALVADOR. Essa ferramenta visa se tornar um auxílio para tomada de decisão de investimentos e ações estratégicas e operacionais.

A partir do modelo ajustado, PRETENDE-SE ANALISAR O IMPACTO DE AÇÕES DE MELHORIAS DE INFRAESTRUTURA como o projeto de expansão de cais do TECON Salvador que está sendo realizado conforme seção 3.2.

---

<sup>1</sup> <<https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/primeiro-balanco-do-vtmis-no-porto-de-vitoria-e-positivo>>  
Acesso em: 18 de Junho de 2019

### 1.1.1 Objetivos específicos

Considerando o desenvolvimento do trabalho e o objetivo geral apresentado, destacam-se os seguintes tópicos:

- 1 Formular modelo de simulação que corresponda aos parâmetros operacionais reais obtidos no TECON Salvador.
- 2 Avaliar métricas de construção do modelo e desempenho.
- 3 Avaliar capacidade do sistema estudado.
- 4 Analisar índices com operacionalização do projeto de expansão do TECON Salvador, abordado na seção 3.2.1.

## 1.2 Organização

O presente trabalho está organizado da seguinte forma:

Cap 2 **Revisão bibliográfica:** Abordagem da definição de capacidade portuária, definição das métricas para construção do modelo e das métricas de avaliação de desempenho a serem avaliadas na simulação.

Cap 3 **Porto de Salvador:** Análise das características geográficas, de movimentação e de operação do Porto de Salvador. Estudo da destinação operacional dos berços, normas de atracação, cálculo dos indicadores operacionais das movimentações portuárias.

Cap 4 **Modelo de cálculo:** Descrição do modelo de simulação por eventos discretos utilizado, modelagem das métricas utilizadas para a construção do modelo, considerações de cálculo.

Cap 5 **Resultados:** Apresentação dos resultados obtidos através da simulação para cenário atual, para cenário com expansão, avaliação de capacidade do terminal em ambos os casos.

Cap 6 **Conclusões**



## 2 Revisão bibliográfica

Este capítulo objetiva introduzir conceitos relacionados as operações portuárias e a importância do estudo de capacidade de movimentação para a boa gestão de portos e terminais privados. Além disso, será discutida a utilização de técnicas de simulação de eventos discretos como fonte para o cálculo de capacidade de movimentação.

### 2.1 Capacidade portuária

O desempenho portuário é a chave para um eficiente funcionamento da cadeia de abastecimento marítimo (OLBA et al., 2015). Ainda segundo o mesmo autor, OS TERMINAIS DE CONTÊINERES NORMALMENTE POSSUEM A MENOR TAXA DE CAPACIDADE CARACTERIZANDO A PRODUTIVIDADE DO SISTEMA PORTUÁRIO AO QUAL PERTENCE.

No passado, a capacidade de um berço era estimada apenas através do conhecimento empírico de outros portos existentes. Assim, frequentemente era assumido que um berço destinado a carga geral possuía uma capacidade de movimentação de 100 a 150 mil toneladas/ano ou que um berço destinado a movimentação de contêineres 50 a 100 mil contêineres/ano. (AGERSCHOU, 1983).

Ainda segundo autor, tais regras não necessariamente retratam a realidade. Essa definição ignora o fato da utilização ótima do berço (o qual considera o custo dos navios esperando) variar de 25% considerando um simples berço para mais de 75% em cais de grandes portos. Esse volume de transferência limite, aliado a uma movimentação ótima, é função direta da utilização do berço.

*The World Association for Waterborne Transport Infrastructure* (2014) afirma que a capacidade de um terminal pode ser interpretada de três maneiras diferentes dependendo do contexto. Os três indicadores mais comuns relacionados ao termo são:

- Capacidade máxima de movimentação instantânea
- Capacidade máxima de movimentação anual
- Capacidade ótima de movimentação anual

NO SETOR DE PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO PORTUÁRIO CONSIDERA-SE A CAPACIDADE ÓTIMA DE MOVIMENTAÇÃO. Este ótimo se relaciona ao sistema através de um determinado nível de serviço (*The World Association for Waterborne Transport Infrastructure*, 2014). Assim, o termo de CAPACIDADE REFERE-SE A MEDIDA DE VOLUME

QUE PODE SER OPERADA POR UM PORTO OU TERMINAL CORRESPONDENDO A UMA ESPERA MÉDIA DAS EMBARCAÇÕES QUE RESULTE MENOR CUSTO GLOBAL para o sistema.

Groenveld (1993) reafirma a ideia do parágrafo anterior acrescentando que o mínimo custo total é determinado por dois componentes:

- Custo de manutenção da infraestrutura portuária.
- Custo de tempo do navio parado esperando para atracar.

Esse contexto é ainda mais fundamental quando os armadores<sup>1</sup> detém detém a posse, arrendamento ou parceria com o terminal que movimenta.

No caso estudado (TECON de Salvador), a Wilsons Sons é a agência marítima<sup>2</sup> que faz a ligação entre os armadores e afretadores na prestação de serviços relacionados a transporte e armazenamento de cargas no Porto de Salvador. Para isso, detém o arrendamento da área com o contrato prorrogado até 2050.

Portanto, a manutenção do nível de serviço adequado no terminal (baixos tempos de espera aceitáveis para atracar) se torna uma vantagem comercial na atratividade com relação aos armadores.

Groenveld (1993) aborda uma solução analítica para o cálculo de capacidade através do modelo de filas e fornece bases para a análise através de modelos computacionais de simulação.

“Os modelos de simulação estão se tornando cada vez mais comuns também para o planejador de usar para estabelecer o layout portuário mais favorável ou a utilização mais eficiente de instalações existentes, simulando uma situação real ou prevista”.

Apesar do fato de haver diversas publicações a respeito da estimativa da capacidade portuária, Olba et al. (2015) afirma que NÃO HÁ UM MODO PADRÃO PARA O CÁLCULO DE CAPACIDADE AMPLAMENTE ACEITO. Assim, define como capacidade:

“O máximo fluxo médio de navios que pode acessar um porto com sua específica infraestrutura, característica de frota, composição de demanda e satisfazendo condições básicas de segurança e nível de serviço”.

<sup>1</sup> Transportador marítimo, proprietário dos navios e dos contêineres utilizados no transporte de mercadorias em águas nacionais ou internacionais

<sup>2</sup> É a empresa que representa o armador em determinado país, estado, cidade ou porto, fazendo a ligação entre este e o usuário do navio

O autor afirma que para o cálculo de capacidade portuária por simulação de eventos, duas questões devem ser satisfeitas:

- MÉTRICAS DOS INDICADORES OPERACIONAIS NECESSÁRIOS ATUAIS PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO.
- MÉTRICAS PARA AVALIAR O DESEMPENHO DAS OPERAÇÕES E ESTIMAR A CAPACIDADE DA REDE DE MOVIMENTAÇÃO PORTUÁRIA.

Nesse sentido, primeiro avalia-se quais serão os indicadores operacionais e suas características analisados para construção do modelo e quais serão as métricas exportadas do processo de simulação.

### 2.1.1 Métricas para a construção do modelo

Antes de abordar as métricas de avaliação das operações, necessita-se entender a área estudada. Apesar do presente estudo ter como objetivo simular as operações do TECON de Salvador, é necessário entender todas as características do Porto de Salvador uma vez que a demanda de outros terminais influencia na requisição do canal de acesso, rebocadores e, portanto, na eficiência de movimentações de outros terminais, como o TECON.

Para a construção do modelo, estuda-se o comportamento dos seguintes indicadores por carga/berço movimentado. Deve-se ter claro que, como feito nos Planos Mestres Portuários, utilizaremos apenas as atracções que movimentaram mais que 95% um único tipo de mercadoria (BRASIL, 2018c).

- **Lotes:** Média dos lotes movimentados em cada atracação.
- **Produtividades :** Fluxo médio das cargas movimentadas após o início da operação até o seu término.
- **Tempos inoperantes :** Tempos dedicados a amarração/desamarração, movimentação de pessoal e de equipamentos para realizar a operação.
- **Tempos de navegação :** Tempo dedicado a navegação e manobra do navio.

Salienta-se que a divisão do lote pela produtividade gera o tempo de operação da embarcação que, se somado aos tempos inoperantes, gera o tempo de atracação.

Como o tempo do navio depende da velocidade do navio ao entrar no canal, da distância percorrida e da manobra, vamos utilizar o tempo de navegação exposto no Plano Mestre do Porto de Salvador como uma variável constante igual a 1,5 h (90 min) para o

Porto de Salvador (BRASIL, 2018b), para a simulação vamos considerar uma variação de 15%.

Os demais indicadores são calculados e analisados conforme a distribuição probabilística dos valores, para uma melhor definição do modelo. Os resultados das regressões, realizadas através do software EasyFit podem ser visualizadas no capítulo 4.

## 2.1.2 Métricas de desempenho portuário

O desempenho portuário deve ser medido por dois tipos de indicadores, financeiros e operacionais (OLBA et al., 2015). O presente estudo focará apenas nos indicadores operacionais, porém DESTACA-SE AQUI QUE É DE FUNDAMENTAL IMPORTÂNCIA PARA O ENTENDIMENTO TOTAL DO SISTEMA QUE SEJA FEITO ESTUDOS A RESPEITO DOS INDICADORES FINANCEIROS.

Os principais indicadores ligados ao desempenho das operações portuárias (AGERS-CHOU, 1983; LIGTERINGEN, 1999; GROENVELD, 1993; OLBA et al., 2015) se referem a:

- **Índice de ocupação ( $\rho$ ):** Porcentagem de tempo que um berço fica ocupado durante o ano.
- **Tempo médio de espera (AWT):** Média dos tempos de espera para atracar na área de fundeio.
- ***Outflow:*** Aqui destaca-se tanto o número total de navios quanto os níveis diários.

A relação entre o tempo de espera e o tempo de serviço para cada operação (WT/ST) também se caracteriza como medida apropriada de pontualidade de serviço do terminal (OLBA et al., 2015). A figura 3 demonstra um exemplo da análise do referido parâmetro.

Na figura 3, cada ponto representa uma atracação com um determinado tempo de espera (WT) e tempo de atracação (ST). Nas abscissas, está o fluxo de navios que foi observado no dia da atracação.

A análise gráfica da figura 3 permite avaliar dois momentos, o primeiro regime linear (linha verde) demonstra um estado não-congestionado. O fluxo de navios aumenta até os tempos de espera começarem a aumentar devido a formação de filas (linha vermelha).

Considera-se o cálculo de capacidade da rede, ou em inglês *Port Network Traffic Capacity* (PNTC) do gráfico o ponto ótimo de movimentação no final do estado normal (*Normal state*) (OLBA et al., 2015).

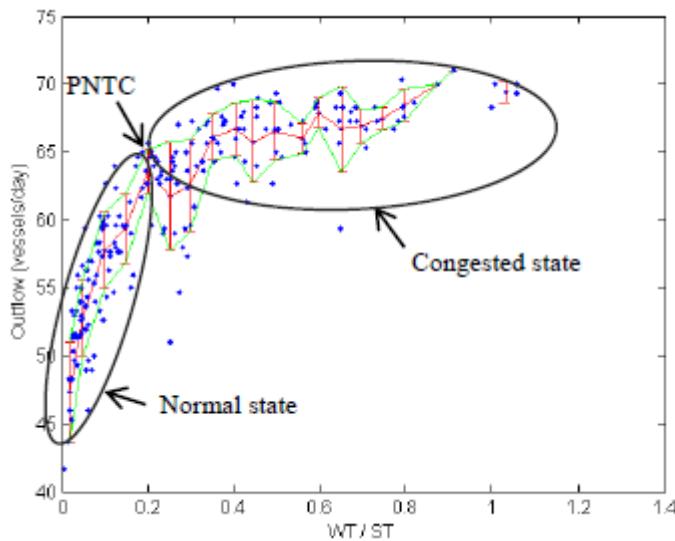


Figura 3 – Exemplo de gráfico WT/ST vs. *Outflow*

Fonte: Olba et al. (2015)

O REAL VALOR DA SOLUÇÃO ÓTIMA É, NO ENTANTO, DETERMINADO POR REGRAS ESPECÍFICAS E PELOS CUSTOS ASSOCIADOS À ESPERA. O USO DESTE INDICADOR SOZINHO PODE RESULTAR EM INFORMAÇÕES ENGANOSAS SE UMA RELAÇÃO DE ESPERA PARA SERVIÇO MUITO BAIXA É CAUSADA POR UMA EQUIPE DE SERVIÇO MUITO INEFICIENTE, e não gargalos operacionais intrínsecos ao sistema (OLBA et al., 2015).

Como este trabalho não abordará os indicadores econômico-finâncieiros, foi considerado um tempo admissível de espera de 6 horas nas movimentações de contêineres para consideração da capacidade de movimentação (BRASIL, 2018c).

Dessa maneira, objetiva-se analisar também se o tempo médio de espera no ponto em que o sistema atinge a capacidade (PNTC), calculado conforme a figura 3 esta condizente com as 6 horas de tempo médio de espera consideradas admissíveis .

## 2.2 Simulação de eventos discretos

Um sistema discreto, por definição, é um processo que se altera apenas quando ocorre um determinado evento, para todos os demais instantes, nada muda (NOGUEIRA, 2009).

A figura 4 exemplifica a diferença entre um sistema  $F(x)$  contínuo e discreto. Note que no modelo discreto, o sistema é alterado após um evento genérico  $x_1$ .

Um modelo discreto também é caracterizado pela possibilidade de formação de filas (NOGUEIRA, 2009). Como exemplo, podemos citar o caso das embarcações esperando para atracar na área de fundeio ou clientes esperando para utilizar caixas eletrônicos

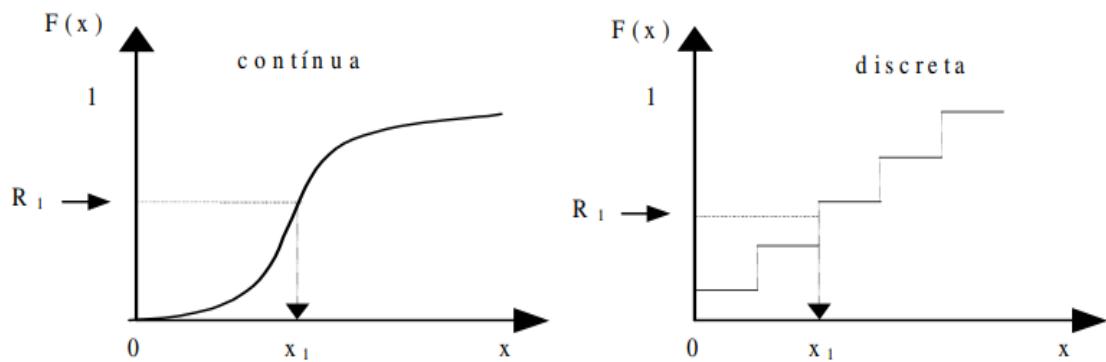


Figura 4 – Função contínua vs. função discreta

Fonte: Nogueira (2009)

bancários.

O SimPy é uma estrutura de simulação de eventos discretos baseada em Python. O software está sob a licença do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). É importante divulgar que os desenvolvedores do Simpy incentivam a compartilhar os modelos de simulação e técnicas de modelagem SimPy com a própria comunidade SimPy.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> <[www.https://simpy.readthedocs.io/en/latest/](https://simpy.readthedocs.io/en/latest/)>. Acesso em: 11 de Abril de 2019

# 3 Porto de Salvador

Este capítulo objetiva introduzir as características da área de estudo a ser simulada: o Porto de Salvador.

Atualmente, a Companhia das Docas do Estado da Bahia (CODEBA), vinculada à Secretaria Nacional de Portos (SNP/MTPA), é a autoridade responsável pela gerência do Porto de Salvador.

Compete a CODEBA, entre outras atribuições, promover a realização de estudos e projetos, realização de obras e serviços, de construção, ampliação, melhoramento, manutenção e operação das instalações portuárias sob sua jurisdição e responsabilidade. A CODEBA também apoia a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) na fiscalização dos contratos de arrendamentos e das cessões de áreas e instalações portuárias.<sup>1</sup>

## 3.1 Localização e características geográficas

O Porto de Salvador está localizado na Baía de Todos-os-Santos, entre a Ponta do Monte Serrat, ao norte, e a Ponta de Santo Antônio, ao sul, em Salvador, capital do estado da Bahia. A figura 5 apresenta a localização e o zoneamento do Porto de Salvador (BRASIL, 2018b).

As coordenadas geográficas do Porto de Salvador são:

- **Latitude:** 13° 00' 37"S
- **Longitude:** 38° 35' 00"O

---

<sup>1</sup> <[http://www.codeba.com.br/eficiente/sites/portalcodeba/pt-br/site.php?secao=institucional\\_historia](http://www.codeba.com.br/eficiente/sites/portalcodeba/pt-br/site.php?secao=institucional_historia)>. Acesso em: 12 de Abril de 2019

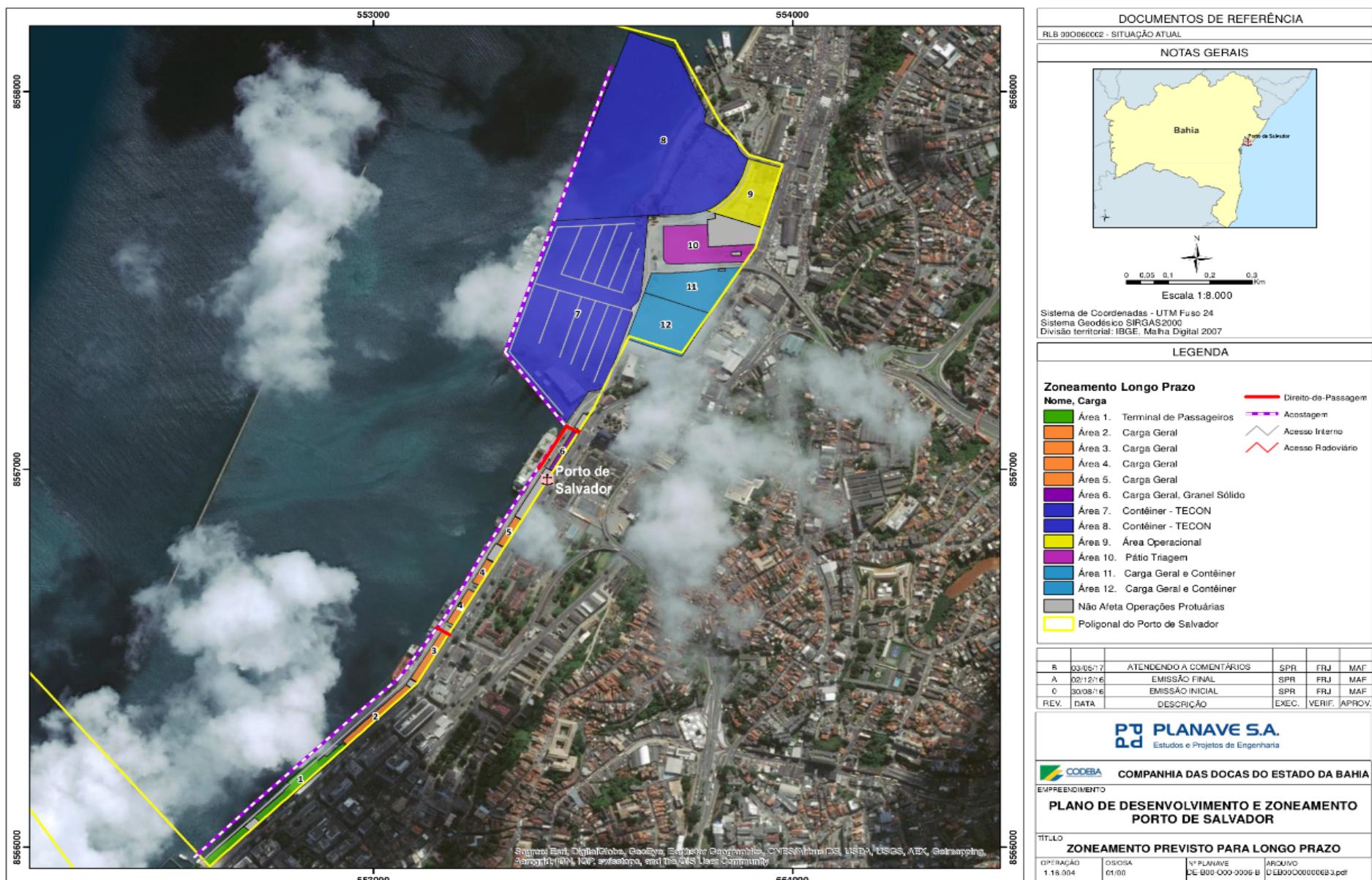


Figura 5 – Localização e zoneamento do Porto de Salvador

Fonte: Brasil (2018a)

Quanto a pluviometria, na análise mensal realizada durante o período de 1961 a 2011, abril foi o mês com maior volume pluviométrico, de até 889,8 mm em 1984. No entanto, maio é o mês mais chuvoso na média mensal (SANTOS et al., 2016).

A figura 6 apresenta a média de precipitação e temperaturas máximas e mínimas de Salvador nos últimos 30 anos.<sup>2</sup>

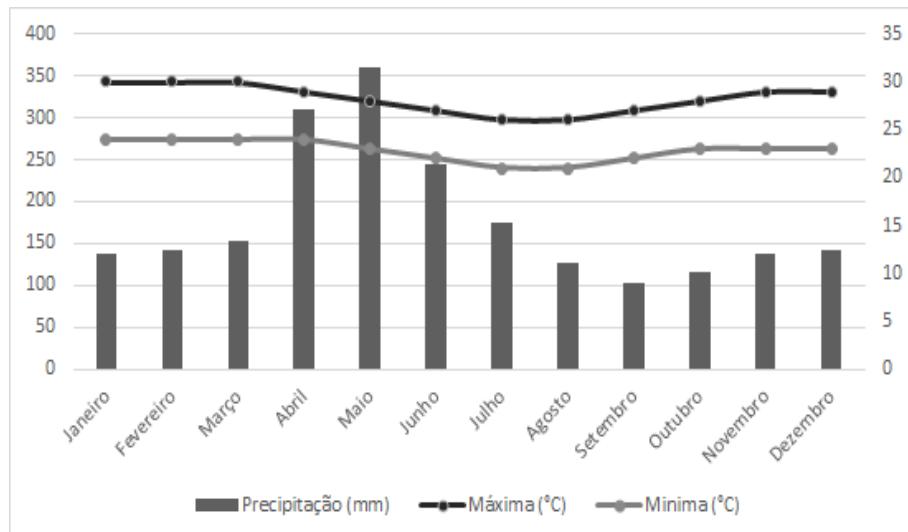


Figura 6 – Média de precipitação e de temperaturas máximas e mínimas

[www.climatempo.com.br](http://www.climatempo.com.br)

Já os ventos predominantes são provenientes do sudeste e leste.<sup>3</sup>

- **Sudeste:** Ocorrência de 28.5%
- **Leste:** Ocorrência de 26.0%
- **Nordeste:** Ocorrência de 15.2%

## 3.2 Infraestrutura

O Porto de Salvador possui um molhe, construído em 1981 com 920 metros e estrutura na forma de enrocamento, e um quebra-mar de 1.474,5 metros de comprimento e construído também em 1981. A figura 7 ilustra as obras de abrigo do Porto de Salvador (BRASIL, 2018b)

Com relação a infraestrutura de acostagem, há um cais contínuo não alinhado com um total de 2.084 metros de extensão, dividido em dois trechos: cais comercial, com 1.469 metros e cais do TECON Salvador, com 615 metros.

<sup>2</sup> <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/56/salvador-ba>>. Acesso em: 12 de Abril de 2019.

<sup>3</sup> <[http://www.codeba.com.br/eficiente/sites/portalcodeba/pt-br/porto\\_salvador.php?secao=porto\\_salvador\\_infraestrutura](http://www.codeba.com.br/eficiente/sites/portalcodeba/pt-br/porto_salvador.php?secao=porto_salvador_infraestrutura)>. Acesso em: 12 de Abril de 2019.



Figura 7 – Obras de abrigo do Porto de Salvador

Fonte: Brasil (2018b)

Toda infraestrutura de cais é dividida em 10 berços (atracadouros), porém, por ser uma divisão antiga, grande parte dos berços possui comprimento pequeno se comparado ao porte atual das embarcações que frequentam o Porto, o que diminui o número efetivo de berços (BRASIL, 2018b).

A tabela 2 mostra as características físicas dos berços do Porto de Salvador. Os berços do cais comercial são agrupados de dois em dois devido ao baixo comprimento de cada atracadouro individual. A localização dos berços é exibida na figura 8.

Tabela 2 – Máximas dimensões autorizadas para o Porto de Salvador

Berços	Comprimento acostável (m)	Calado máximo autorizado (m)	Porte bruto (t)	Material de fundo
201/202	384	8.0	40,000	Areia
203/204	300	11.5	50,000	Pedra
205/206	260	8.0	40,000	Areia
207/208	525	8.0	40,000	Areia
300	240	12.0	65,000	Areia
611	375	13.9	105,000	Areia

Fonte: CPBA (2015) e Brasil (2018b)



Figura 8 – Berços do Porto de Salvador

Fonte: Brasil (2018b)

Para o cálculo do calado máximo recomendado, utiliza-se a equação 3.1

$$CMR = (P + M) * (1 - FS) \quad (3.1)$$

Onde:

P Profundidade, obtida da NPCP-BA (m)

M Maré momentânea, obtida da tábua de marés

FS Fator de segurança em função do material de fundo

Em salvador, analisando em 2018, a maior variação foi de 2,6 em 10 de agosto. Com relação aos fatores de segurança, adota-se (CPBA, 2015):

- Areia: 0.050
- Lama macia: 0.026
- Pedra: 0.080

As defensas instaladas no cais são do tipo pneu nos trechos "205/206" e "207/208"; do tipo tronco-cônicas nos trechos "201/202", "203/204" e "300"; "611" do tipo cônica. Existem hidrantes para abastecimento de água nos berços "201/202", "203/204", "205/206" e "207/208". Não há fornecimento de energia elétrica (CODEBA, 2014).

Com relação aos cabeços de amarração, segue a nomenclatura e características da disposição deles no cais através da tabela 3

Tabela 3 – Cabeços de amarração disponíveis no Porto de Salvador

Berços	Cabeços de amarração	Número de cabeços	Distância entre cabeços (m)
201/202	09 a 23	15	25
203/204	01 a 10	10	30
205/206	39 a 47	11	9 de 25 e 2 de 30
207/208	47 a 68	22	25
300	01 a 08	8	30
611	01 a 03	13	30

Fonte: CPBA (2015)

A tabela 4 exibe os equipamentos de cais e os tipos de carga movimentada em cada um dos berços do Porto de Salvador.

Tabela 4 – Equipamentos de cais e natureza operada nos trechos de cais

Berços	Equipamentos de cais	Destinação operacional
201/202	Não Dispõe	Passageiros
203/204	4 guindastes (Cap. 3,2t)	Carga Geral
205/206	3 guindastes (Cap. 3,2t)	Carga Geral
207/208	6 guindastes (Cap. 5 de 3,2t e 1 de 6t)	Trigo, celulose e fertilizantes
300	3 TECON (Panamax)	Contêineres e carga geral
611	3 portêineres (Super Post-Panamax)	Contêineres e carga geral

Fonte: CODEBA (2014) e Brasil (2018a)

Com relação a armazenagem, o uso das instalações é realizando mediante requisição por parte do dono da mercadoria à CODEBA, de acordo com as disponibilidades. A movimentação na recepção, eventual transporte interno, empilhamento, desempilhamento e expedição são encargos dos operadores portuários, contratados pelo dono da mercadoria ou consignatário (CODEBA, 2014).

A tabela 5 mostra as instalações de armazenagens disponíveis, sua área, capacidade estática e destinação operacional.

Além dos armazéns, existem 3 pátios no Porto de Salvador destinados a armazenagem de cargas. O pátio do TECON possui uma área de 117.900 m<sup>2</sup>, dos quais 110.800 m<sup>2</sup> para armazenagem, com capacidade estática de 11.214 TEU. A área destinada a expansão do TECON também apresenta um pátio de 32.380 m<sup>2</sup>, atualmente este espaço armazena

Tabela 5 – Armazéns do Porto de Salvador

Instalação	Área (m)	Capacidade (t)	Destinação Operacional
Arm. 3	2.0 mil	6.0 mil	Carga geral e celulose
Arm. 4	1.8 mil	5.0 mil	Carga geral e celulose
Arm. 5	3.0 mil	7.8 mil	Granel sólido
Arm. 6	2.0 mil	5.5 mil	Granel sólido
Arm. 7	1.4 mil	3.5 mil	Granel sólido
Arm. 8	1.6 mil	4.0 mil	Carga geral e celulose

Fonte: CODEBA (2014), Brasil (2018b) e Brasil (2018a)

cargas de projeto como pás eólicas e carros e futuramente também poderá operar contêiner quando a obra de expansão terminar (BRASIL, 2018a).

Outro pátio disponível pertence ao operador Intermarítima, com área de 15.800 m e capacidade estática de 1.889 TEU. Por último, o pátio público apresenta uma área de 8.670 m com capacidade indefinida, visto que movimenta diferentes tipos de carga (BRASIL, 2018a).

Com relação ao arrendamento de áreas portuárias, existem 3 áreas arrendadas hoje no Porto de Salvador. A Wilson Sons obteve a prorrogação antecipada do mesmo até o ano de 2050, se comprometendo a construir um novo berço de contêineres adjacente ao atual (que será simulada no presente trabalho). A Secretaria Nacional de Portos (SNP) vinculada Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (MTPA) já concedeu a autorização para sua construção (BRASIL, 2018a).

O contrato da Intermarítima já está expirado, mas a empresa continua operando sob liminar, tendo sido negociado um contrato de transição que ainda não foi aceito pela arrendatária. O Terminal Marítimo de Passageiros e Receptivo Turístico do Porto de Salvador foi arrendado em 24/5/2016 pelo consórcio CONTERMAS (Consórcio Novo Terminal Marítimo de Salvador), pelo período de 25 anos. O consórcio é formado pelas empresas Socicam Terminais Rodoviários e Representações e ABA Infraestrutura e Logística (BRASIL, 2018a).

### 3.2.1 Projetos e expansões

Esta seção é destinada a descrição do projeto de expansão do Cais Água para Meninos, correspondente ao lado direito do Berço 611 do TECON Salvador (ver figura 5).

O projeto do novo TECON Salvador será realizado em 3 etapas. A primeira fase consiste no prolongamento do Cais Água de Meninos (Berço 611) em 433 metros, chegando a 800 metros de extensão, com previsão de conclusão até 2020. Na segunda fase consiste na pavimentação da retroárea existente afim de torná-la um pátio.

A terceira fase do projeto consiste na expansão do pátio realizado na etapa 2,

porém em área a ser aterrada (BRASIL, 2018b). A figura 9 retrata o projeto descrito.



Figura 9 – Expansão do TECON Salvador

Fonte: Brasil (2018b)

### 3.3 Movimentação

Porto de Salvador caracteriza-se por ser um porto exportador, destacando-se na movimentação de contêineres, carga geral e granéis sólidos (trigo), além de ser um dos principais destinos de cruzeiros marítimos do país (CODEBA, 2014).

Destaca-se a movimentação de cargas conteinerizadas, operadas nos berços do TECON Salvador, que de 2015 para 2018 cresceu 17,6%. O segundo produto mais movimentado no Porto de Salvador é o trigo, operado principalmente no Berço 208.

Em 2018, O Porto de Salvador foi o 8º porto brasileiro em movimentação de carga conteinerizada, com total de 4,25 milhões de toneladas (309 mil TEUS) (ANTAQ, 2019).

A celulose também obteve crescimento de 50,6% em relação a 2015, passando de 11 mil t movimentadas em 2015 para 195 mil t em 2018. As demais cargas flutuaram a movimentação entre o horizonte estudado. Destaca-se que outras cargas gerais movimentadas representavam 2,2% do total movimentado (em toneladas) em 2015 e reduziram para 0,17% em 2018.

A figura 10 exibe a movimentação do Porto de Salvador nos últimos 4 anos.

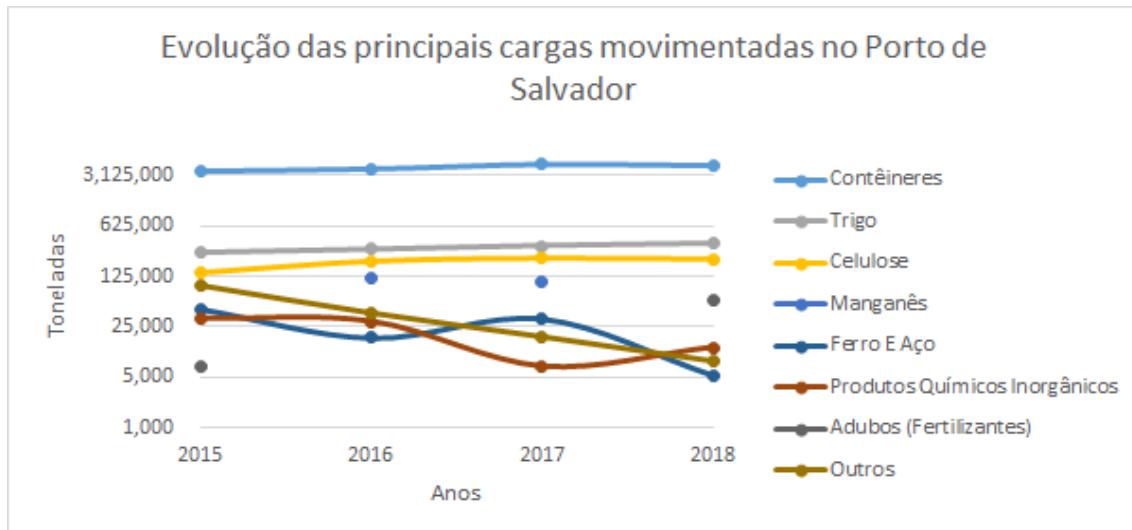


Figura 10 – Movimentação no Porto de Salvador nos últimos 4 anos

Fonte: ANTAQ (2019)

Para uma melhor noção da importância da movimentação de contêineres para o Porto de Salvador, a figura 11 demonstra a representatividade de cada carga em relação ao total movimentado (t).

Percebe-se através da figura 10 que os contêineres, o trigo e a celulose são as principais cargas movimentadas no Porto, com movimentações constantes e crescentes.

O manganês, produtos químicos inorgânicos, ferro e aço e outras mercadorias está diretamente ligado ao polo petroquímico de Camaçari<sup>4</sup>, e portanto apresentam movimentações pontuais de cargas para fins específicos, com muita variação ao longo do tempo.

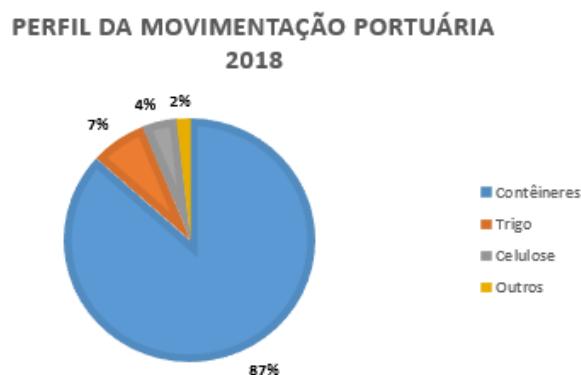


Figura 11 – Perfil de movimentação de carga no Porto de Salvador (2018)

Fonte: ANTAQ (2019)

<sup>4</sup> <[http://www.codeba.com.br/eficiente/sites/portalcodeba/pt-br/site.php?secao=noticias\\_gerais&pub=4733](http://www.codeba.com.br/eficiente/sites/portalcodeba/pt-br/site.php?secao=noticias_gerais&pub=4733)>. Acesso em 05 de Maio de 2019

### 3.4 Operações

Esta seção se destina a caracterizar as operações do translado de cargas no Porto de Salvador.

Não é permitido o cruzamento de navios devido a movimentação *squat*<sup>5</sup> (diminuição do espaço entre a quilha e o fundo do mar, rio ou canal, causado pelo movimento da embarcação. Durante o seu deslocamento, o navio causa uma aceleração do fluxo de água em torno do costado, criando uma depressão na distribuição de pressão nesta área, principalmente a meio navio) gera no navio, não só ao fundo, mas também em relação as bordas ou ultrapassagem de navios. (CPBA, 2015)

Também é concedida atracação imediata à sua chegada ao Porto aos navios de turismo ou passageiros, obedecendo escala pré-determinada e comunicada à Autoridade Portuária. Na falta de cais livre para atracação imediata dos navios de passageiros ou turismo, deverá ser determinada a desatracação de um cargueiro pertencente ao mesmo armador (CODEBA, 2014).

No Porto de Salvador, o Cais de Ligação (Berço 300) e o Cais de Água de Meninos (Berço 611) são considerados preferenciais para atracação navios "full-containeres", cujas movimentações serão efetuadas através do TECON, observando as condições estabelecidas para utilização de janela de atracação própria (CODEBA, 2014).

Define tempo de atracação da embarcação se inicia no momento da passagem da primeira amarra para sua fixação no cabeço e termina quando da liberação da última amarra do cabeço (CODEBA, 2014).

Destaca-se que a operação a contrabordo também pode ser realizada desde que a requerimento do armador sob total responsabilidade dos seus comandantes (CODEBA, 2014).

Após o término da operação portuária, ou, caso haja, após serviços previamente autorizados, deverá iniciar-se o processo de desatracação (CODEBA, 2014).

A CODEBA (2014) também afirma:

"Dentro de cada classe (preferenciais, exclusivas, prioritárias ou não prioritárias), as atracações serão autorizadas CONFORME A ORDEM CRONOLÓGICA DE CHEGADA DOS NAVIOS À LINHA QUE DELIMITA A ENTRADA DA BAÍA DE TODOS OS SANTOS, para os portos de Salvador e Aratu, caracterizando-se quando o navio acessa a área de fundeio, salvo quando o comprimento da vaga disponível e/ou profundidade do “berço” não forem compatíveis com o comprimento e/ou calado do navio a atracar, caso em que a ordem de atracação

<sup>5</sup> <[https://www.academia.edu/8220623/EFEITO\\_SQUAT](https://www.academia.edu/8220623/EFEITO_SQUAT)>. Acesso em: 09 de Junho de 2019

será alterada."

### 3.4.1 Destinação operacional

Esta subseção destina-se a mapear o fluxo das principais cargas movimentadas nos últimos 4 anos, exibidas na seção 3.3.

Para um melhor entendimento da destinação operacional a tabela 6 mostra o percentual de carga destinada a cada um dos atracadouros do Porto de Salvador.

Tabela 6 – Destinação operacional do Porto de Salvador de 2015 a 2018

Carga Operada	203/204	205/206	207	208	300	611	Total
<b>Fertilizantes</b>	<b>100.00%</b>	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
<b>Contêineres</b>	0.05%	0.01%	0.01%	0.00%	<b>8.06%</b>	<b>91.88%</b>	100.00%
<b>Ferro e aço</b>	<b>70.09%</b>	<b>5.49%</b>	<b>13.61%</b>	<b>2.70%</b>	<b>8.11%</b>	0.00%	100.00%
<b>Manganês</b>	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	<b>100.00%</b>	0.00%	100.00%
<b>Celulose</b>	<b>81.37%</b>	<b>15.83%</b>	<b>2.80%</b>	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
<b>Prod. químicos</b>	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	<b>100.00%</b>	0.00%	100.00%
<b>Trigo</b>	<b>1.69%</b>	<b>5.84%</b>	<b>11.04%</b>	<b>81.44%</b>	0.00%	0.00%	100.00%
<b>Outros</b>	49.13%	18.20%	10.69%	0.95%	20.98%	0.05%	100.00%
<b>Total</b>	4.69%	1.24%	1.02%	5.41%	8.77%	78.87%	100.00%

Fonte: ANTAQ (2019)

Em vermelho estão os valores de representatividade das principais cargas (consideradas as cargas que representam 95% da movimentação portuária total) acima de 1%. Esse critério foi utilizado para mapear a destinação operacional de cada um dos berços do porto (BRASIL, 2018c).

A tabela 6 demonstra que, no Terminal TECON Salvador, foram movimentados contêineres, ferro e aço, manganês e produtos químicos inorgânicos.

Devido a variabilidade das movimentações de manganês e produtos químicos inorgânicos, conforme explicado na seção 3.3, os indicadores operacionais do manganês e produtos químicos inorgânicos (Granéis sólidos) não foram levados em conta para a análise das métricas de construção do sistema de simulação.<sup>6</sup>

### 3.4.2 Aspectos operacionais

As subseções seguintes tem como objetivo apresentar os indicadores operacionais que servirão de métricas para a construção do modelo de simulação. Para o cálculo de tais indicadores, foi utilizada a base de dados exportada do Anuário Estatístico (ANTAQ, 2019).

<sup>6</sup> Esses dados somente foram considerados para a análise do tempo entre chegadas sucessivas

## Contêineres

A atracação dos contêineres ocorre nos Berços 300 e 611, próximos ao arrendamento Wilson Sons. Para a operação são utilizados 3 porteiros, tanto no Berço 300 quanto no Berço 611. Do pátio de armazenagem, a carga é colocada nos caminhões por meio de aparelhos *reach stacker* ou *Rubber Tyred Gantry* (RTG) que a transportam até o cais, onde é embarcada através de porteiros. O desembarque da carga ocorre de maneira análoga em sentido inverso.



Figura 12 – Fluxo operacional dos contêineres no TECON Salvador - Embarque.

Fonte: Brasil (2018b)

O TECON por vezes também movimenta contêineres para a Intermarítima Terminals. Nesse caso, os caminhões partem da do Pátio do TECON ou diretamente do cais para o Pátio da Intermarítima.

Os indicadores operacionais para a movimentação de contêineres no berço 611 são abordados na tabela 7.

Tabela 7 – Indicadores operacionais dos contêineres no Berço 611

Indicador	Mínimo	Q. 25%	Média	Q75%	Máximo
Lote médio (und)	25	246	409	536	1451
Produtividade (und/h)	6.7	39.0	47.2	55.5	225.6
Tempo inoperante pré-operacional (h)	0.0	0.6	1.2	1.4	24.8
Tempo inoperante pós-operacional (h)	0.0	1.3	2.2	2.2	25.4
Tempo operacional (h)	0.9	1.3	12.1	55.5	173.1

Fonte: ANTAQ (2019)

Já os indicadores operacionais da movimentação de contêineres no Berço 300 são exibidos na tabela 8.

Tabela 8 – Indicadores operacionais dos contêineres no Berço 300

Indicador	Mínimo	Q. 25%	Média	Q75%	Máximo
Lote médio (und)	29	261	372	487	945
Produtividade (und/h)	6.3	22.4	30.4	34.7	148.0
Tempo inoperante pré-operacional (h)	0.0	0.6	1.3	2.5	19.8
Tempo inoperante pós-operacional (h)	0.1	1.3	2.3	2.0	33.0
Tempo operacional (h)	1.4	8.6	12.2	17.2	51.2

Fonte: ANTAQ (2019)

Uma análise mais detalhada da variação desses indicadores é realizada na seção 3.4.2

### Outras Cargas Gerais

Considera-se outras cargas gerais o lingotes de ferro e aço, máquinas, aparelhos eletrônicos, reatores entre outros. Essas cargas, por se tratarem de cargas muito variáveis tiveram somente seu tempo de estadia no berço, ou seja o tempo de atracação, cujos valor mínimo, máximo, médio, e quartis superior e inferior são mostrados na tabela 9.

Tabela 9 – Tempo médio de atracação de outras cargas no Berço 300

Indicador	Mínimo	Q. 25%	Média	Q75%	Máximo
Tempo médio de atracação (h)	4.5	12.6	18.1	30.3	369.8

Fonte: ANTAQ (2019)

### Outras Cargas

Considera-se outras cargas toda carga que requisitará somente o canal de acesso na simulação, ou seja, os fertilizantes, ferro e aço, celulose e trigo. Como são analisadas cargas distintas, foi analisado somente o tempo médio de atracação dessas cargas, cujos valor mínimo, máximo, médio, e quartis superior e inferior são mostrados na tabela 10.

Tabela 10 – Tempo médio de atracação de outras cargas que requisitam o canal de acesso

Indicador	Mínimo	Q. 25%	Média	Q75%	Máximo
Tempo médio de atracação (h)	8.3	43.9	98.5	164.6	606.0

Fonte: ANTAQ (2019)

### 3.5 Desempenho do Sistema Portuário

Esta seção destina-se a descrever as métricas de desempenho portuário reais. Foi analisado somente as métricas de desempenho dos contêineres operados no Berço 611, que devido a maior demanda (79% da frota destina-se para lá). Como métricas de desempenho temos:

- **Tempo médio de espera (h)** : 9.32 h
- **Índice de ocupação (%)** : 61.8 %
- ***Outflow*** : 450 navios

Tais índices foram calculados através da Base de dados do Anuário Estatístico da ANTAQ para o ano de 2018 (ANTAQ, 2019).

## 4 Modelo de cálculo

O mapeamento de processos é uma ferramenta que permite documentar os eventos em todos os elementos que compõem um processo, através de diversas técnicas que podem ser aplicadas individualmente ou em conjunto (SANTANA, 2003).

O fluxograma exposto na figura 13 exibe de forma esquemática o processo das operações portuárias, a ser simulado.

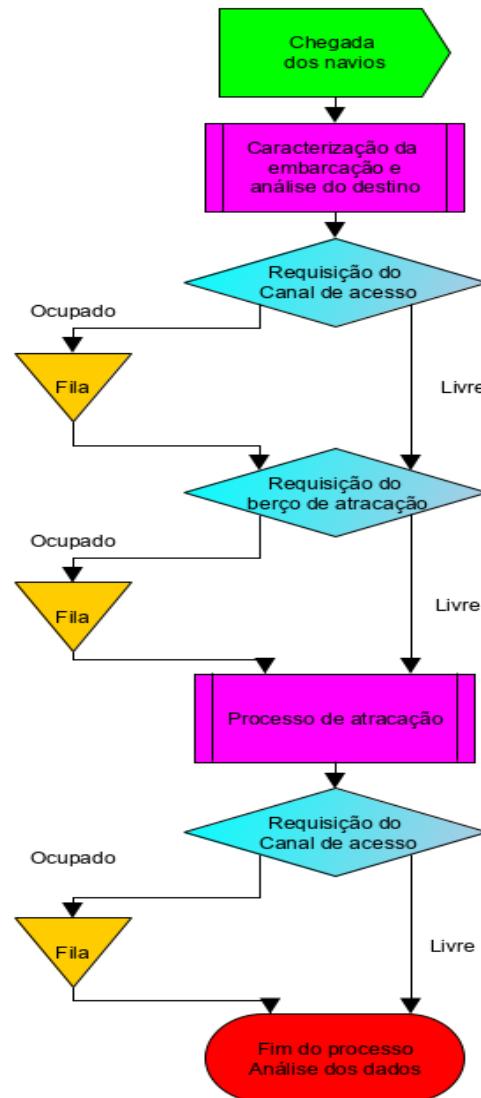


Figura 13 – Mapeamento dos processos envolvidos na operação portuária

Fonte: Elaborado pelo autor

A chegada das embarcações deve obedecer as características de chegada das embarcações no Porto de Salvador. Para isso, utilizamos o *EasyFit* para checagem de distribuição dos dados de tempos entre chegadas sucessivas.

Além disso, a escolha da característica da embarcação (carga, lote, produtividade, tempos inoperantes) também deve satisfazer as distribuições de probabilidades de valores vistos em prática.

Com o estudo desses índices, objetiva-se caracterizar o sistema real de atracações que ocorre no TECON de Salvador. As métricas de desempenho da simulação são então comparadas as métricas atuais de desempenho, referenciadas na seção 3.4

Salienta-se que para o compreendimento total das operações do terminal, podem ser implementadas ainda a análise de armazenagem de carga e também análise do translado para o modo rodoviário ou ferroviário de transporte. O presente estudo ateve-se somente a parte operacional da movimentação de cais.

## Simplificações

A norma de atracações prevê prioridade de atracação imediata para navios de cruzeiro que chegam ao Porto (CODEBA, 2014). Para simplificação de modelo, desconsideramos as atracações de cruzeiro na requisição do canal de acesso.

Conforme já referenciado na seção 3.4.2, os indicadores operacionais do manganês e produtos químicos inorgânicos (granéis sólidos) não foram levados em conta para a análise das métricas de construção do sistema<sup>1</sup>.

Como a base de dados do Anuário Estatístico (ANTAQ, 2019) não apresenta os tempos de parada de operações, seja por questões climáticas ou técnicas, consideram-se que estes fatores foram considerados de maneira indireta através da produtividade de operação ou dos tempos médio inoperantes.

Também foram considerados, através do tempo inoperante pós-operacional, possíveis esperas de maré para desatracação (Uma possível explicação do porquê o tempo inoperante pós-operacional verificado no Berço 611 é aproximadamente o dobro do tempo inoperante pré-operacional).

Outra parte do processo de construção do modelo simplificada foi a tomada de decisão para qual Berço o porta-contêineres se destina. Esse processo de tomada de decisão envolve análise do calado da embarcação com a profundidade momentânea. Como a ANTAQ (2019) não apresenta o "NREmbarcação" ou o número de registro na Organização Marítima Internacional (IMO)<sup>2</sup>, não foi possível implementar a destinação por análise de

---

<sup>1</sup> Esses dados somente foram considerados para a análise do tempo entre chegadas sucessivas

<sup>2</sup> Na ultima atualização do anuário estatístico da ANTAQ já foi disponibilizado o "NR IMO", o que possibilitaria o processo

calado da embarcação que chega ao Porto.

Neste caso, foi adotado como input o *share* de contêineres observado na média ao longo dos 4 últimos anos, ou seja, se 79% da frota destina-se ao Berço 611, esse *share* permanecerá aproximadamente fixo.

O tempo entre chegadas sucessivas dos navios geralmente obedece as janelas de atracações e não são completamente aleatórias, uma vez que obedecem as programações das linhas de navegação com baixas variações inerentes ao transporte. Como cerca de 80% dos navios obedece essa característica, adotou-se por simplificação que as análise dos tempos entre chegadas sucessivas obdeceria, de maneira indireta, a chegada dos navios com janelas de atracação.

Salienta-se que a implementação das simplificações no modelo de cálculo teriam como consequência provável diminuir o erro do cálculo das métricas de construção e desempenho.

## 4.1 Análise de distribuições para construção do modelo

Esta seção se destina ao estudo da variabilidade do tempo médio entre chegadas sucessivas e dos indicadores operacionais das cargas movimentadas.

Para o ajuste dos dados as distribuições, auxílio do programa EasyFit, que ajustar os nossos termos em uma ampla gama de distribuições rapidamente. O software permite também aplicação para Microsoft Excel, habilitando-o para resolver um grande número de problemas<sup>3</sup>.

### Tempo entre chegadas sucessivas

O tempo entre chegadas sucessivas no Porto de Salvador obteve as seguintes características de distribuição de dados exibidos na figura 14.

Para a simulação dos dados foi adotado a distribuição Gamma, com parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  exibidos na figura 15:

Para o nível de significância de  $\alpha 5\%$ , o teste do chi-quadrado não descartou a aderência da distribuição dos lotes com relação a distribuição Gamma.

<sup>3</sup> <<http://www.mathwave.com/EasyFit-distribution-fitting.html>>. Acesso em: 06 de Junho de 2018

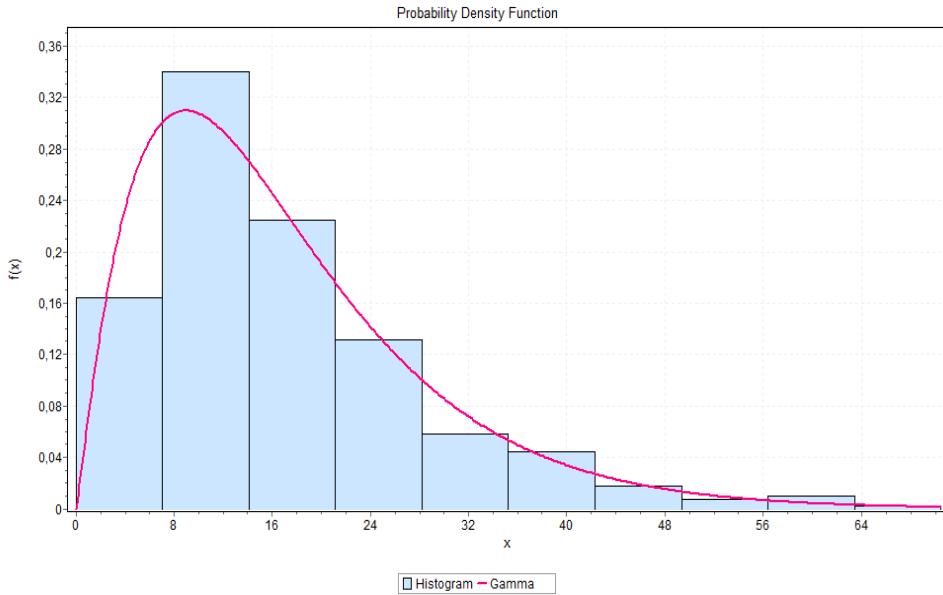


Figura 14 – Distribuição dos registros de tempo entre chegadas de navios (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019)

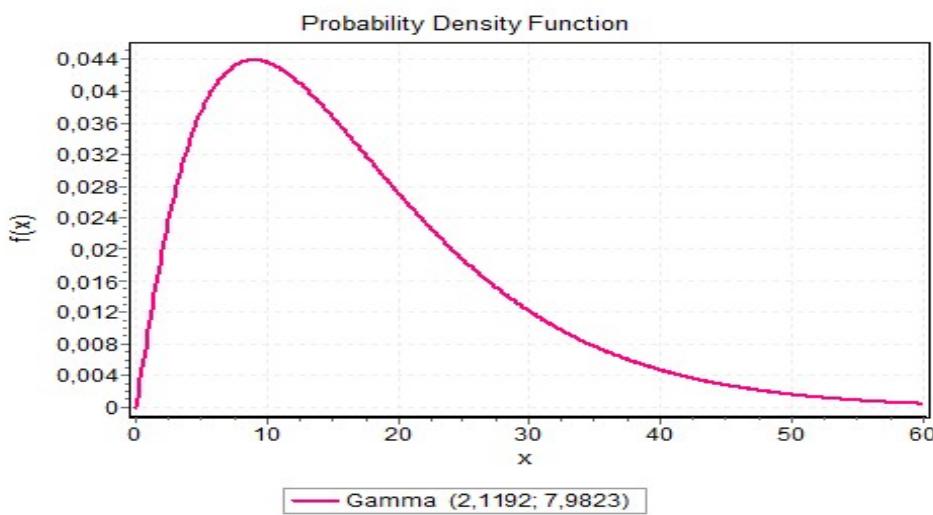


Figura 15 – Análise de distribuição dos registros de tempo entre chegadas sucessivas (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019). Elaboração: EasyFit

## Contêiner - Berço 611

### Lote

O lote movimentado nas operações do Berço 611 variou de 25 a 1451 unidades movimentadas. Porém, 87.2 % da amostra encontra-se entre 183 e 817 unds conforme mostra a figura 16.

Para a simulação dos dados foi adotado a distribuição Gamma, com parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  exibidos na figura 17:

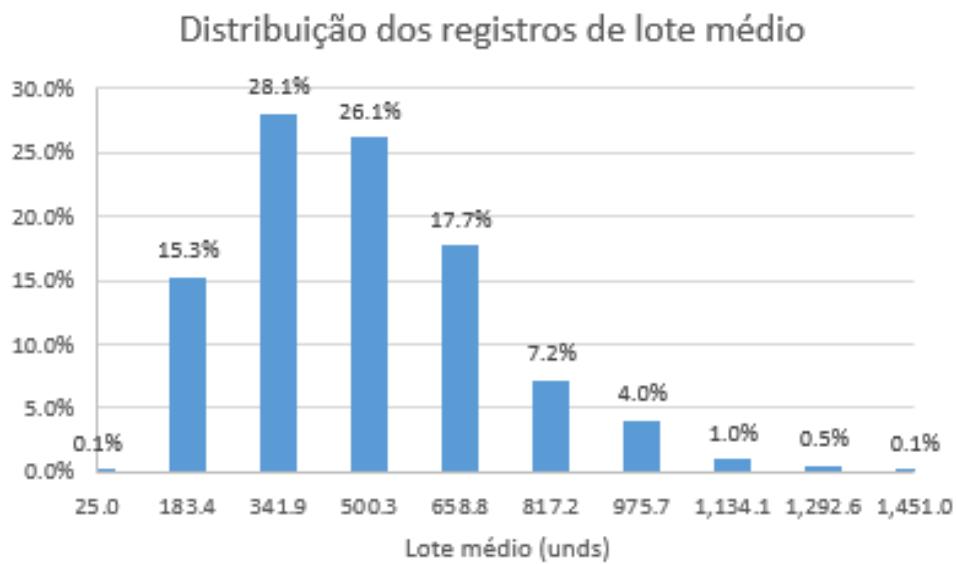


Figura 16 – Distribuição dos registros de lotes movimentados no Berço 611 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019)

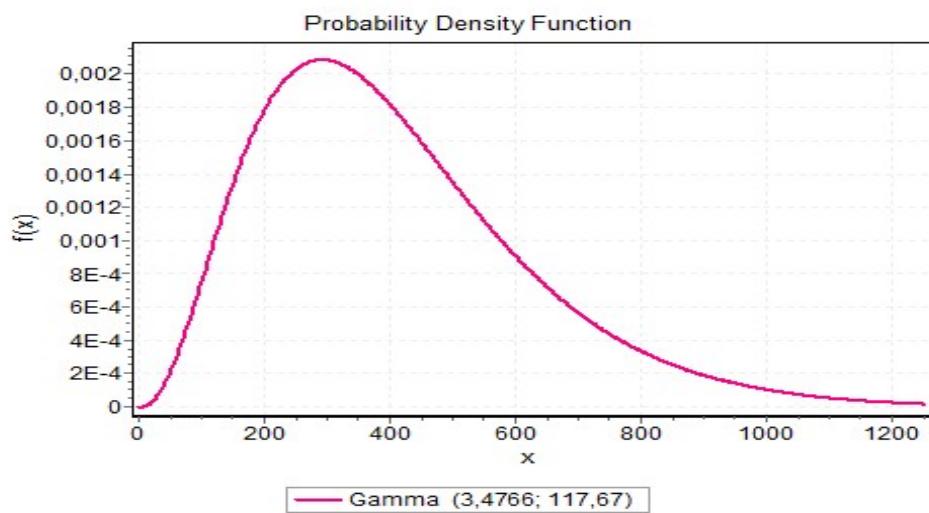


Figura 17 – Análise de distribuição dos registros de lotes no Berço 611 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019). Elaboração: EasyFit

Para o nível de significância de  $\alpha 5\%$ , o teste do chi-quadrado não descartou a aderência da distribuição dos lotes com relação a distribuição Gamma.

### Produtividade

A produtividade operacional das operações do Berço 611 variou de 7 a 225 unds/h. Entretanto, 99.7 % da amostra encontra-se entre 10 e 100 unds/h e 89% entre 30 e 70 unds/h conforme mostra a 18.

Para a simulação dos dados foi adotado a distribuição Gamma, com parâmetros  $\mu$

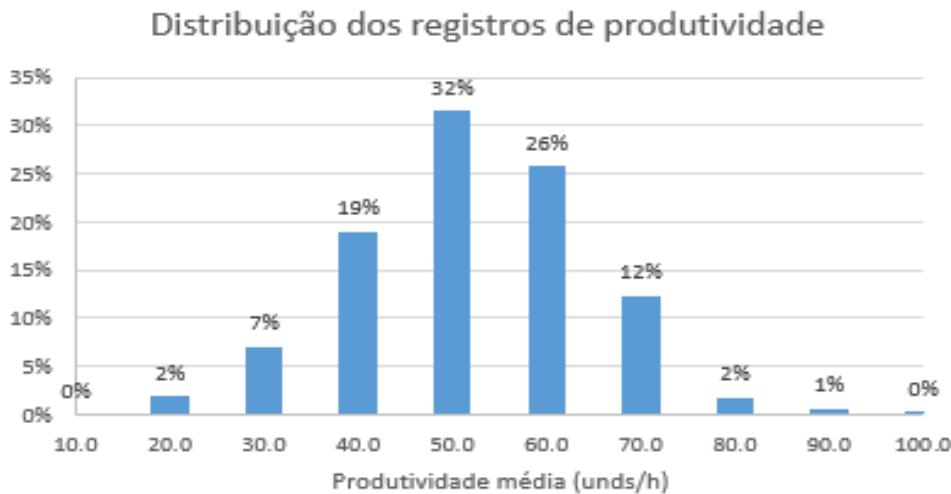


Figura 18 – Distribuição dos registros de produtividades no Berço 611 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019)

e  $\sigma$  exibida na figura 19:

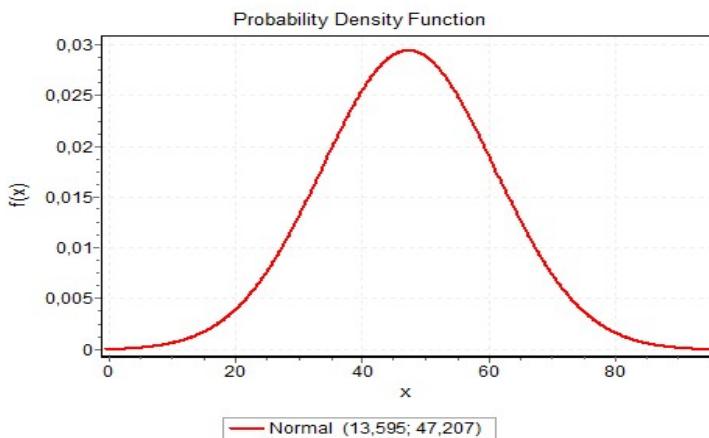


Figura 19 – Análise de distribuição dos registros de produtividades no Berço 611 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019). Elaboração: EasyFit

Para o nível de significância de  $\alpha = 5\%$ , o teste de Kolmogorov-Smirnov não descartou a aderência da distribuição dos lotes com relação a distribuição Normal com os parâmetros mostrados na figura 19.

### Tempos inoperantes

O tempo inoperante pré-operacional das operações do Berço 611 variou de 0<sup>4</sup> a 25h. Entretanto, 88% da amostra esta entre 0.3 h e 2 h. A figura 20 demonstra o comportamento do parâmetro.

<sup>4</sup> Apesar da impossibilidade de zero horas para a operação, atracar e no mesmo instante começar a operar, haviam registros na base de atracções que não foram depurados

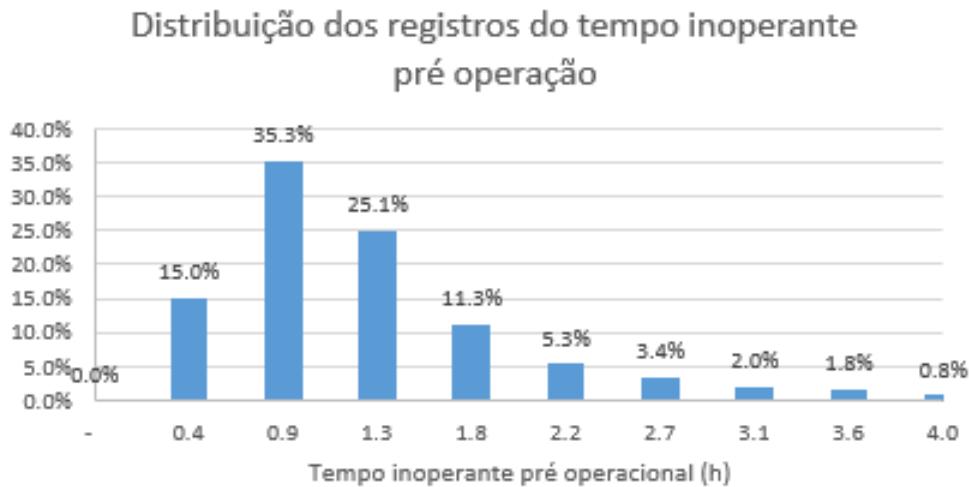


Figura 20 – Distribuição dos registros de tempos pré-operacionais no Berço 611 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019)

Para a simulação dos dados foi adotado a distribuição *LogNormal*, com parâmetros  $\sigma$  e  $\mu$  exibida na figura 21:

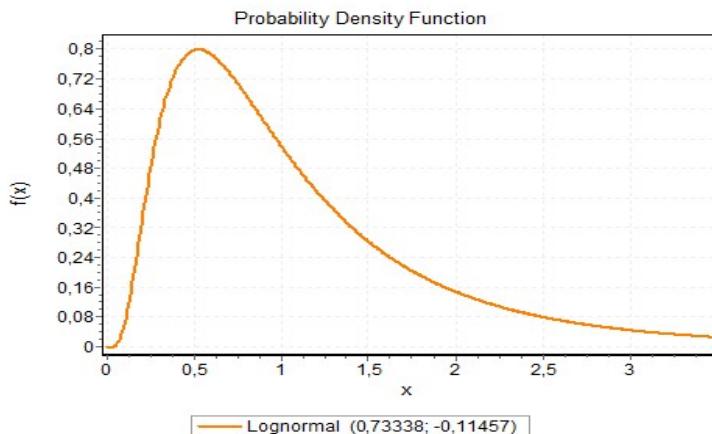


Figura 21 – Análise de distribuição dos registros de tempos pré-operacionais no Berço 611 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019). Elaboração: EasyFit

Para o nível de significância de  $\alpha 1\%$ , o teste do Kolmogorov-Smirnov não descartou a aderência da distribuição dos tempos inoperantes pré-operacionais com relação a distribuição *LogNormal* com os parâmetros mostrados na figura 21.

No caso do tempo médio inoperante pós-operacionais, os valores foram mais elevados, como mostra a figura 22.

Para a simulação dos dados foi adotado a distribuição *LogNormal*, com parâmetros  $\sigma$  e  $\mu$  exibida na figura 23:

A análise da distribuição do tempo médio pós-operacional não obteve correlação

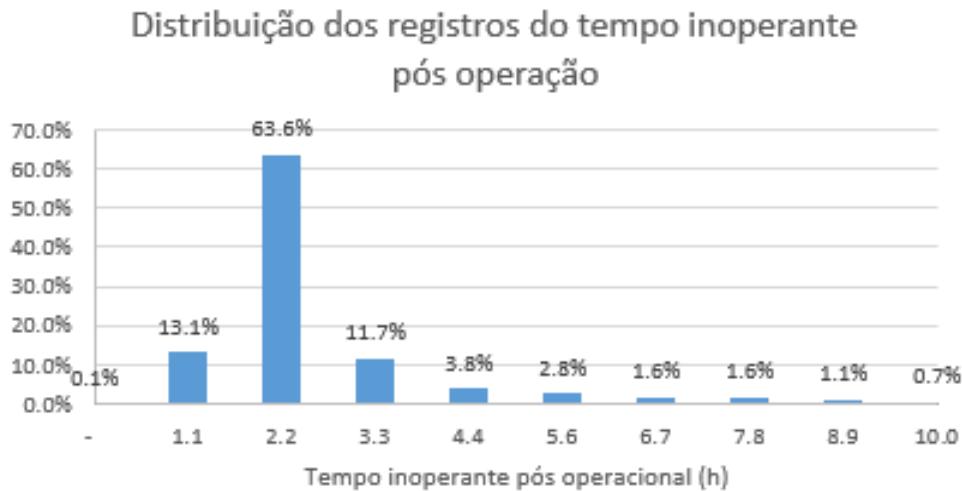


Figura 22 – Distribuição dos registros de tempos pós-operacionais no Berço 611 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019)

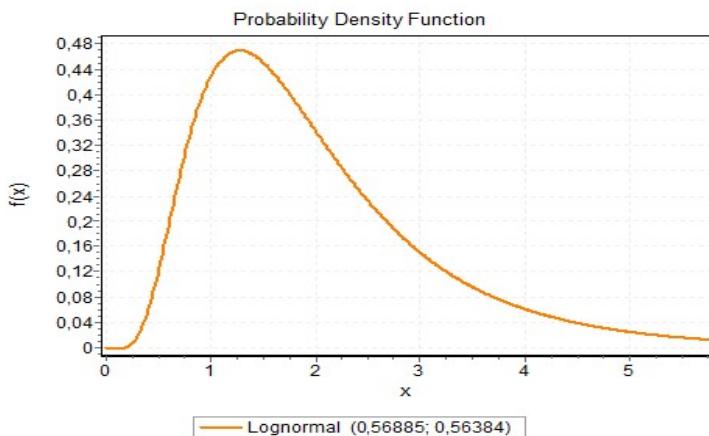


Figura 23 – Análise de distribuição dos registros de tempos pós-operacionais no Berço 611 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019). Elaboração: EasyFit

em nenhum dos testes realizados. Contudo, o indicador foi parâmetrizado com a melhor curva de distribuição disposta, no caso a *LogNormal*.

Contêiner - Berço 300.

Lote médio

O lote movimentado nas operações do Berço 300 variou de 29 a 945 unidades movimentadas. Porém, 85 % da amostra encontra-se entre 100 e 800 unds conforme mostra a figura 24.

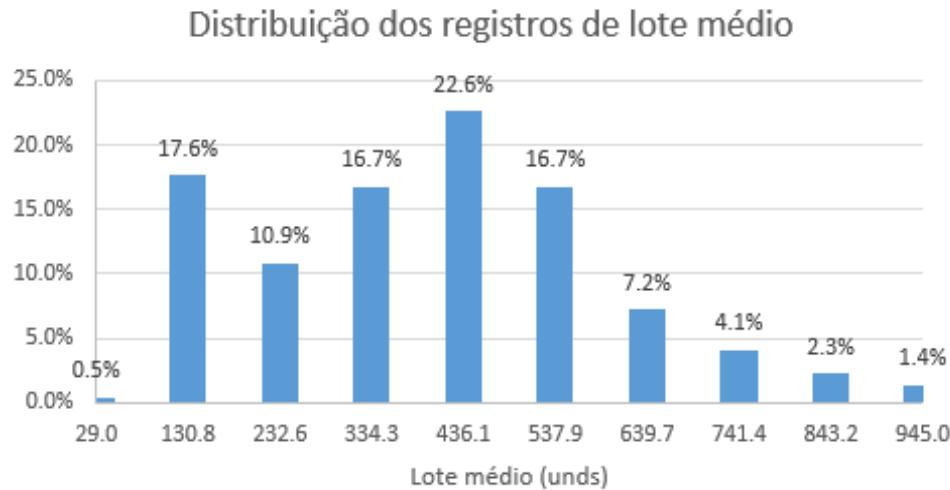


Figura 24 – Distribuição dos registros de lotes movimentados no Berço 300 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019)

Para a simulação dos dados foi adotado a distribuição normal, com parâmetros  $\sigma$  e  $\mu$  exibidos na figura 25.

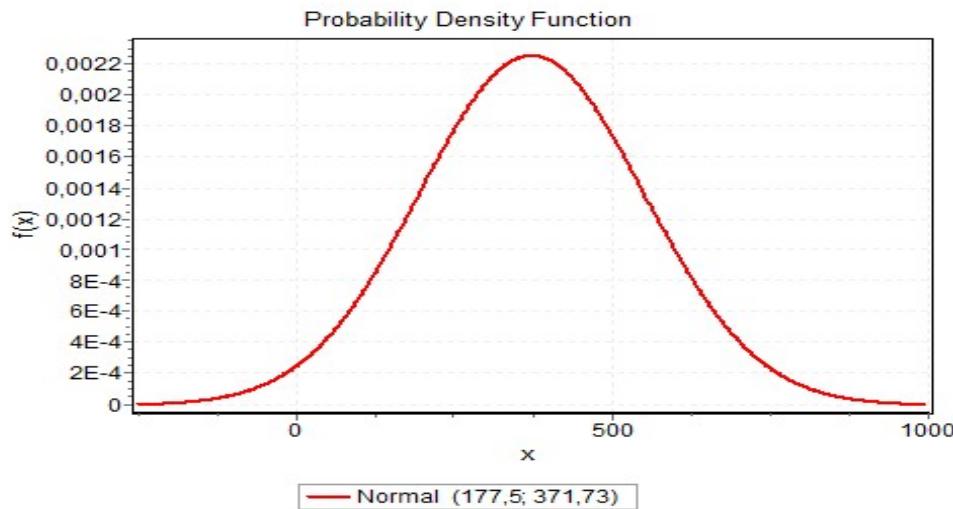


Figura 25 – Análise de distribuição dos registros de lotes no Berço 300 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019). Elaboração: EasyFit

Para o nível de significância de  $\alpha = 20\%$ , nenhum dos 3 testes realizados pelo EasyFit (Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov e Chi-Quadrado) rejeitou o modelo de distribuição dos dados.

### Produtividade média

A produtividade operacional das operações do Berço 300 variou de 6 a 147 unds/h. Entretanto, 90.3 % da amostra encontra-se entre 10 e 70 unds/h conforme exibido na figura 26.

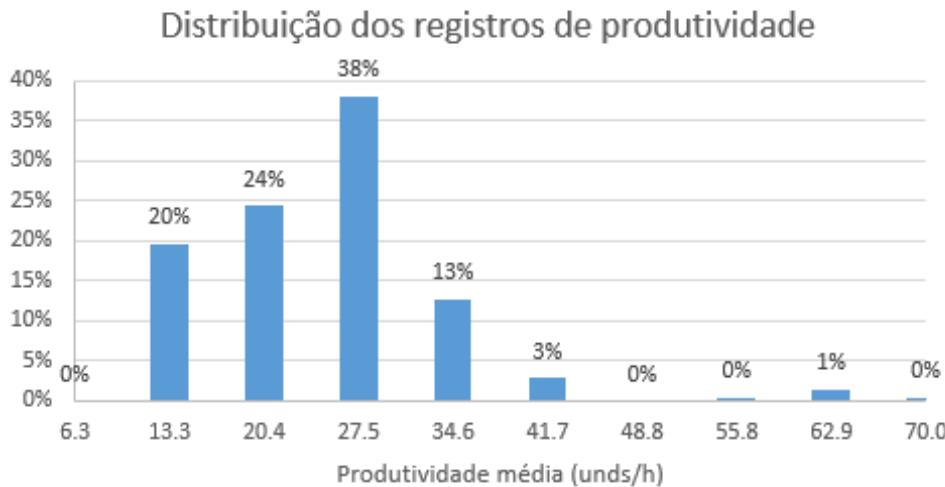


Figura 26 – Distribuição dos registros de produtividades no Berço 300 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019)

Para a simulação dos dados foi adotado a distribuição Weibull, com parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  exibida na figura 27:

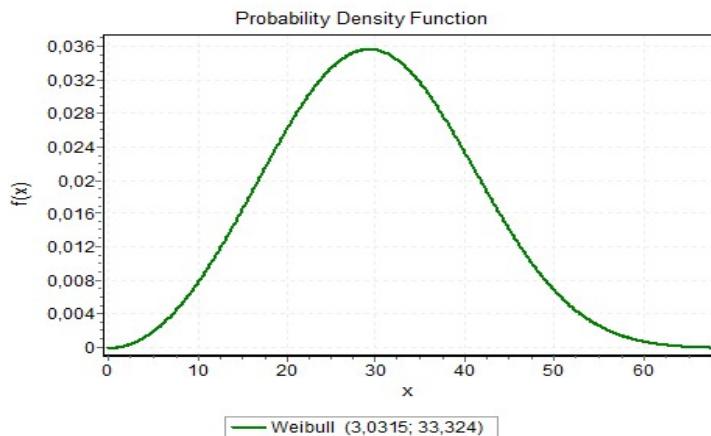


Figura 27 – Análise de distribuição dos registros de produtividades no Berço 300 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019). Elaboração: EasyFit

Para o nível de significância de  $\alpha 10\%$ , o teste do Kolmogorov-Smirnov não descartou a aderência da distribuição dos lotes com relação a distribuição Weibull com os parâmetros mostrados na figura 27.

### Tempos inoperantes

Os tempos inoperantes pré-operacionais das operações do Berço 300 variaram de <sup>5</sup> 0 a 20h. Entretanto, 92% da amostra esta entre 0.2 h e 9 h. A figura 28 demonstra o

<sup>5</sup> Apesar da impossibilidade de zero horas para a operação, atracar e no mesmo instante começar a operar, haviam registros na base de atracções que não foram depurados

comportamento da métrica de construção.

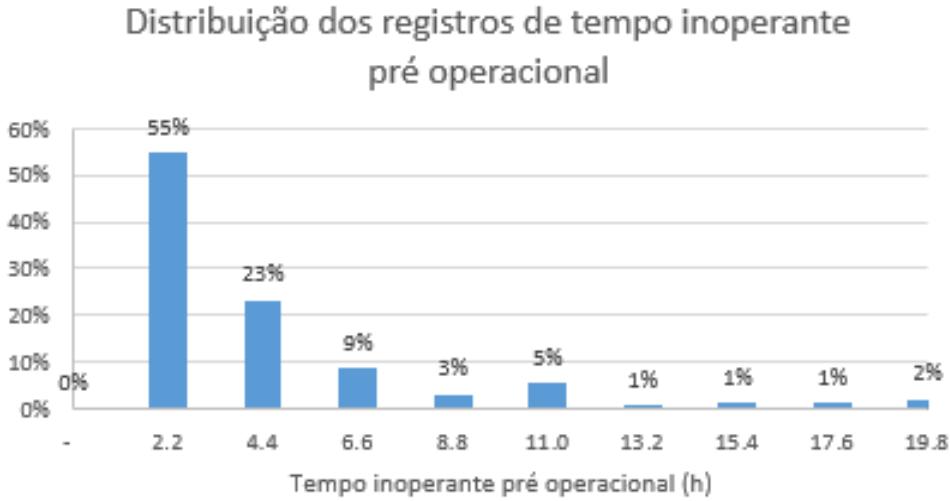


Figura 28 – Distribuição dos registros de tempos pré-operacionais no Berço 300 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019)

Para a simulação dos dados foi adotado a distribuição *LogNormal*, com parâmetros  $\sigma$  e  $\mu$  exibida na figura 29:

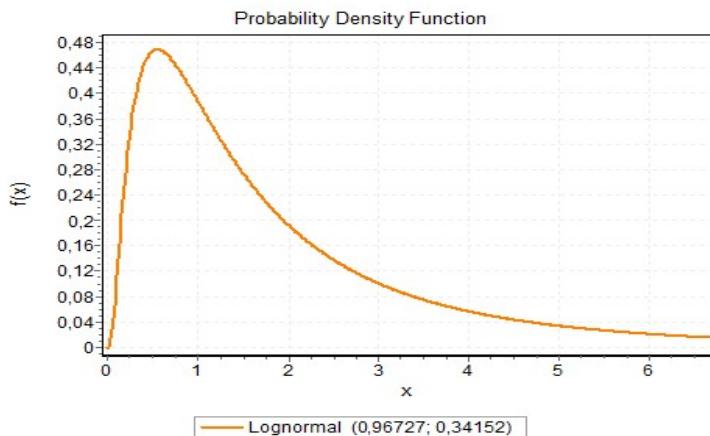


Figura 29 – Análise de distribuição dos registros de tempos pré-operacionais no Berço 300 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019). Elaboração: EasyFit

Para o nível de significância de  $\alpha = 20\%$ , os testes de Kolmogorov-Smirnov e chi-quadrado não descartaram a aderência da distribuição dos tempos com relação a distribuição *LogNormal* com os parâmetros mostrados na figura 29.

No caso do tempo médio inoperante pós-operacionais, os valores foram mais elevados, como mostra a figura 30.

Para a simulação dos dados foi adotado a distribuição *LogNormal*, com parâmetros  $\sigma$  e  $\mu$  exibida na figura 31:

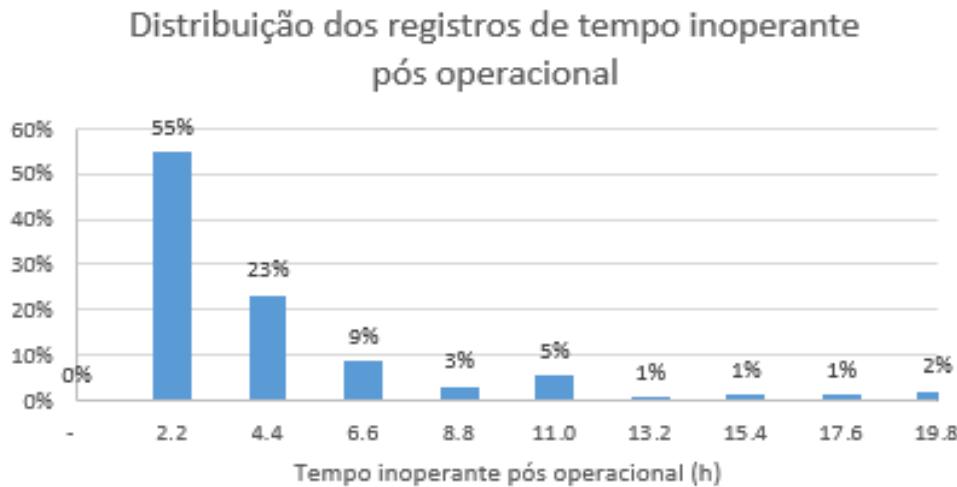


Figura 30 – Distribuição dos registros de tempos pós-operacionais no Berço 300 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019)

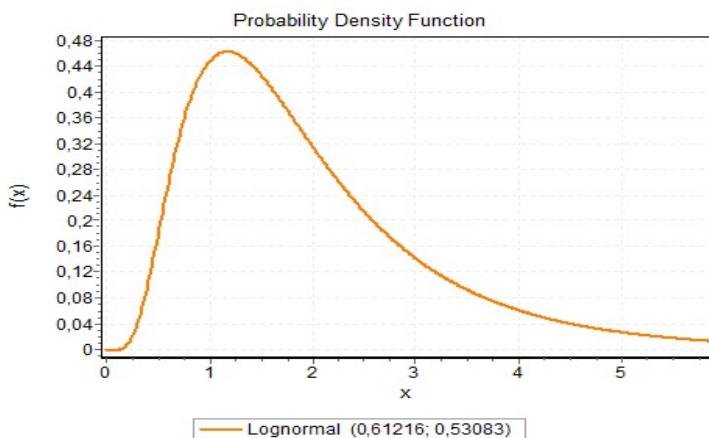


Figura 31 – Análise de distribuição dos registros de tempos pós-operacionais no Berço 300 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019). Elaboração: EasyFit

A análise da distribuição do tempo médio pós-operacional não obteve correlação em nenhum dos testes realizados. contudo parametrizamos com a melhor das curvas de distribuição dos dados apresentadas.

## Outras cargas - Berço 300

### Tempo médio de atracação

As outras cargas gerais que foram movimentadas no Berço 300 têm uma grande variabilidade de características que interferem de maneiras diferentes nos indicadores operacionais.

Dessa forma, buscou-se apenas aproximar o tempo de permanência das embarcações no cais por meio do estudo de variabilidade do tempo de atracação. Os tempos de atracação das cargas variaram de 4.5 até 370 horas. Porém 90% da amostra está entre 10 e 70 horas.

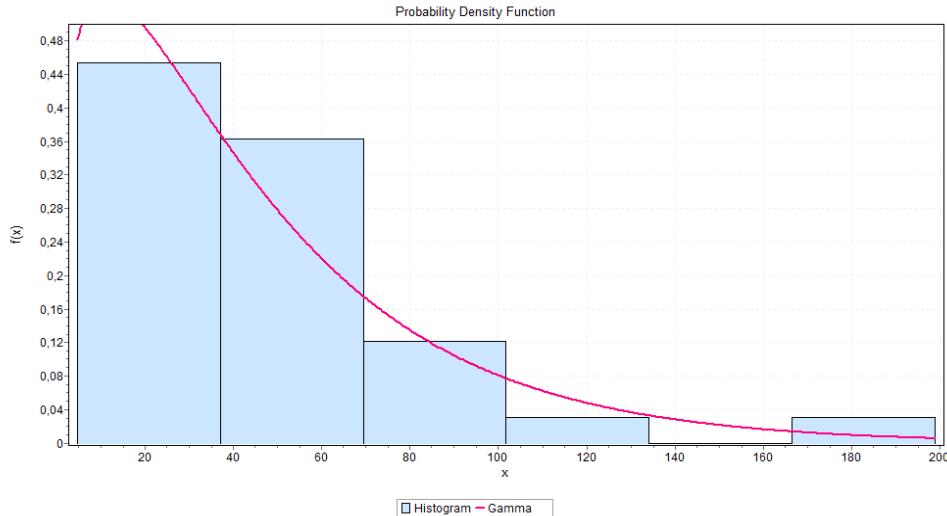


Figura 32 – Distribuição dos registros de tempos de atracação no Berço 300 (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019)

Para a simulação dos dados foi adotado a distribuição Gamma, com parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  exibida na figura 33:

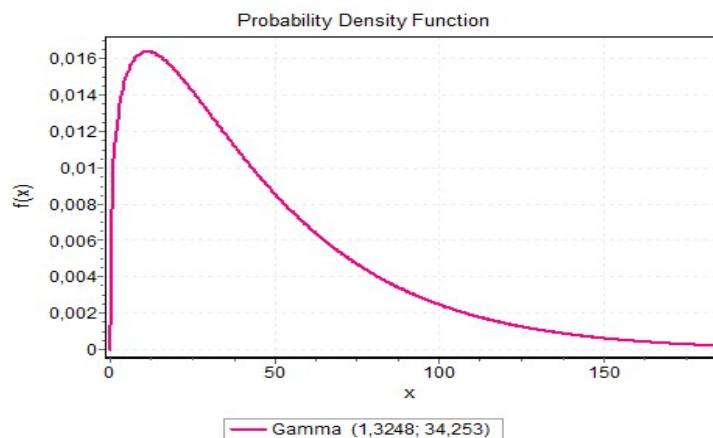


Figura 33 – Análise de distribuição dos registros de tempos pós-operacionais (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019). Elaboração: EasyFit

A análise da distribuição dos tempos de atracação obteve aderência para um nível de significância  $\alpha$  de 20% em todos os testes realizados.

## Outras cargas - Canal de acesso.

### Tempo médio de atracação

Aqui foram analisados o tempo de permanência no cais das embarcações de trigo, celulose, ferro e aço e demais cargas gerais.

Devido ao fato dessas mercadorias requisitarem apenas o canal de acesso (não se destinarem ao TECON Salvador, objeto da análise da simulação), a simplificação para consideração apenas do tempo de atracação.

A figura 34 demonstra a distribuição de probabilidade dos tempos de atracação nos demais berços do Porto de Salvador.

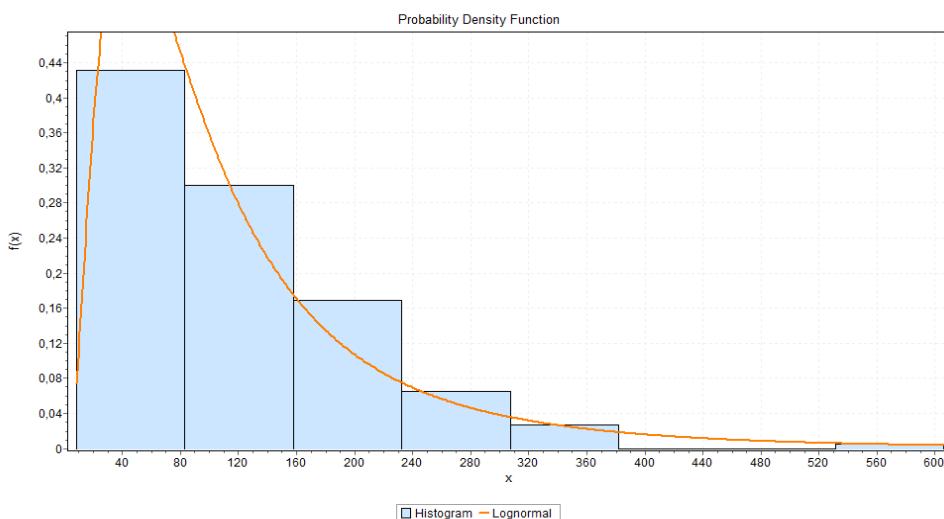


Figura 34 – Distribuição dos registros de tempos de atracação nos demais berços do Porto de Salvador (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019)

É possível inferir através da figura 34 que a maior parte dos resultados concentra-se entre 10 e 160 horas.

Para a simulação dos dados foi adotado a distribuição *LogNormal*, com parâmetros  $\sigma$  e  $\mu$  exibida na figura 35.

A análise da distribuição dos tempos de atracação obteve aderência para um nível de significância  $\alpha$  de 10% nos testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov.

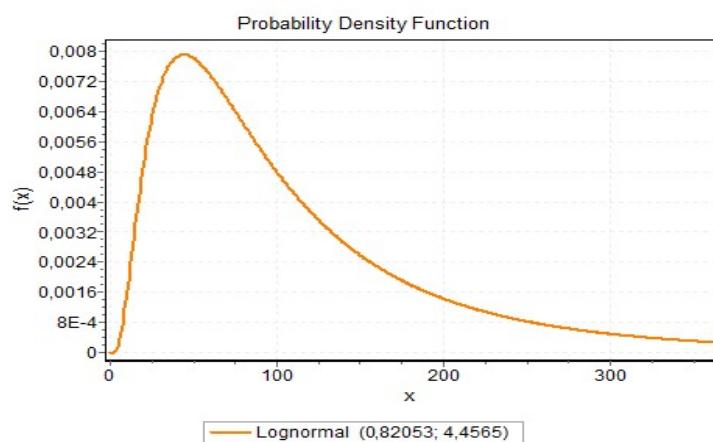


Figura 35 – Análise de distribuição dos registros de tempos de atracação nos demais berços do Porto de Salvador (2015-2018)

Fonte: ANTAQ (2019). Elaboração: EasyFit



# 5 Resultados

Este capítulo objetiva mostrar e analisar os resultados do modelo de simulação desenvolvido para o presente projeto.

O *script* de simulação considerado para a análise de dados encontra-se no Anexo A. Foi considerado a implantação de todos os indicadores conforme suas distribuições de probabilidade da métricas de construção expostas na seção 4.1.

Devido ao fato que 79% da frota destina-se ao Berço 611, berço do Porto com a maior movimentação, vamos adotar o desempenho desse trecho de cais como desempenho do próprio sistema, ou seja, ponto mais crítico.

Foram consideradas duas simulações, uma do cenário atual do TECON Salvador, e a outra contendo a expansão do Berço 611, descrita na seção 3.2.1.

## 5.1 Cenário atual

Foram realizadas 4 simulações do modelo atual para análise das métricas de desempenho. Um exemplo de resultado exportado do script de simulação encontram-se expostos na figura 36

```

--- Simulação 1 Concluída com Sucesso ---

Métricas de construção:

Berço 611:

Lote médio: 413.298243 unds/navio
Produtividade média: 47.566857 und/h
Tempo inoperante médio pré operacional: 1.115405 horas
Tempo inoperante médio pós operacional: 2.031151 horas

Métricas de desempenho:

Berço 611:

Outflow: 426 navios
Tempo médio de espera: 1.880342 horas
Índice de ocupação (rô): 0.309210

```

Figura 36 – Resultados do modelo de simulação para cenário atual

Elaborado pelo autor

A média das métricas de desempenho das 4 simulações resultaram:

*Outflow* : 419 navios

*AWT* : 8.8 h

$\rho$  : 61.9 %

Comparando a média dos registros simulados com os reais, o *outflow* apresentou índice 8% de variação em relação ao número real (459 navios<sup>1</sup>). O tempo médio de espera (*AWT*) obteve erro relativo de 5% e o índice de ocupação variação de 0.1%. A tabela 11 mostra os resultados.

Tabela 11 – Comparação das métricas de desempenho reais e simuladas

Métrica de desempenho	Resultado real	Média das simulações	Erro
<b>Outflow</b>	459	419	8.9%
<b>AWT</b>	9.3	8.8	5.1%
$\rho$	62%	62%	-0.1%

Elaborado pelo autor

Como todos os índices apresentaram variações menores do que 10%, e considerando que as métricas de construção permaneceram idênticas, considera-se que o sistema simulado está balizado com o sistema real.

É interessante ver ainda que o *outflow* menor realmente resulta num menor tempo médio de espera. Porém o índice de ocupação simulado é praticamente o mesmo que o real. Esse resultado é causado porque a distribuição de métricas de construção no berço 611 foram muito próximos a média real, resultando num tempo médio de serviço muito próximo do real.

## 5.2 Comportamento do sistema atual

Para uma melhor percepção da alteração dos resultados para diferentes demandas, mantemos os indicadores operacionais constantes e fizemos variações no *outflow*. O objetivo é caracterizar o comportamento do sistema através da variação do número de acessos, conforme gráfico de exemplo retirado de Olba et al. (2015) referenciado na seção 2.1.2.

A figura 37 demonstra o comportamento do tempo médio de espera sobre o tempo médio de serviço simulados para variações do *outflow*.

A figura 37 demonstra em azul os valores de desempenho simulados, em verde, a melhor reta para o estado descongestionado (em pontilhado sua projeção) e em vermelho a reta para os pontos no estado congestionado. O sistema real pode ser visualizado no ponto em amarelo.

<sup>1</sup> Considerados apenas os navios com 100% de carga conteinerizada

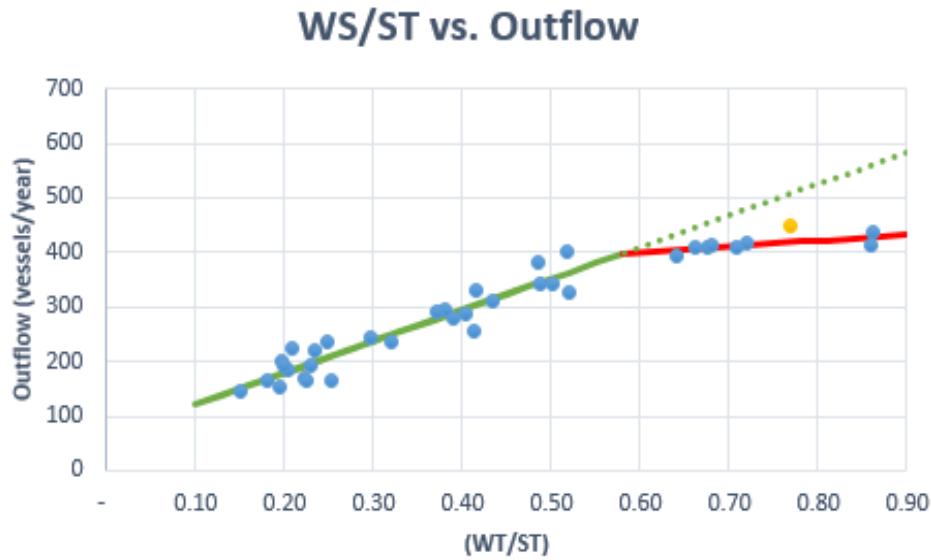


Figura 37 – Comportamento do sistema simulado para variações de demanda

Elaborado pelo autor

A análise do gráfico permite inferir que, uma vez que os tempos de serviço permanecem constantes (lote, produtividade e tempos inoperantes mantiveram características de distribuição de valores), para baixos valores de *outflow*, não há formação constante de fila (apenas em alguns períodos do ano) de fila, o que antém os tempos de espera relativamente constantes, até que o fluxo atinge um ponto que o aumento do *outflow* começara a produzir uma variação maior nos valores de espera, fazendo com que a reta de regressão dos dados de WT/ST se incline para a horizontal.

Vemos que a alteração do estado congestionado para o estado crítico ocorre com *outflow* em cerca de 400 navios demandados para berço, demonstrando que o sistema está operante já no estado congestionado, e com tempo de espera superior as 6 horas. Esse resultado explica a busca por investimentos no terminal. Considerando o tempo médio de serviço através da equação 5.1.

$$ST = (LM/PM) + TMI \quad (5.1)$$

onde:

ST : Tempo médio de serviço

LM : Lote médio

PM : Produtividade média

TMI : Soma dos tempos inoperantes médios pré e pós-operacional.

Considerando a capacidade como o ponto de intersecção sob a relação (WT/ST = 0.57), e considerando tempo de serviço de 12.5 h obtemos que:

$$WTcap = 0.57 * 12.5 = 7h \quad (5.2)$$

Esse resultado encontra-se próximo ao considerado para o cálculo de capacidade realizado no Plano Mestre de Salvador (BRASIL, 2018b), e de acordo com Brasil (2018c), com tempo admissível de espera próximo a 6 horas. Para a cálculo da capacidade de movimentação. multiplicamos o  $outflow_{cap}$ , número de navios da transição dos estados normal para congestionado, pelo lote médio (LM) observado nas movimentações. Para a conversão da movimentação de unds para TEUs, no utilizou-se o fator médio de 1.57 TEUs/und verificado para o TECON Salvador em 2018:

$$Cap = outflow_{cap} * LM \quad (5.3)$$

$$Cap = 400 * 409 * 1.57 = 256.852TEUs/ano \quad (5.4)$$

### 5.3 Cenário demanda atual e expansão de infraestrutura

Aqui iremos apresentar os resultados da simulação contendo a expansão referenciada na seção 3.2.1.

Como não tivemos acesso ao EVTEA do projeto, para a simulação adotaremos que o novo berço manterá as características de movimentação do Berço 611, ou seja, profundidade de 13,9 m no mínimo, 3 portêineres *Super Post-Panamax* operando nas mesmas condições do Berço 611<sup>2</sup>. A tabela 12 demonstra os resultados das métricas de desempenho simuladas.

Tabela 12 – Comparaçāo das métricas de desempenho reais e simuladas

Métrica de desempenho	Média das simulações
Outflow	420
AWT	1.9
$\rho$	31%

Elaborado pelo autor

<sup>2</sup> Considerado os mesmos indicadores operacionais do Berço 611

Constata-se através da simulação que a operacionalização do novo Berço, se operando para a mesma demanda diminuirá cerca de 80% do tempo médio de espera, de 9,3 horas para 1.75 horas.

## 5.4 Comportamento do sistema com Expansão

Conforme feito para o cenário atual, foram geradas simulações alterando o tempo entre chegadas sucessivas das embarcações para caracterizar o comportamento do novo sistema.

A figura 38 demonstra o comportamento do tempo médio de espera sobre o tempo médio de serviço simulados para variações do *outflow*.



Figura 38 – Comportamento do sistema com expansão simulado para variações de demanda

Elaborado pelo autor

A figura 38 demonstra em azul os valores de desempenho simulados, em verde, a melhor reta para o estado descongestionado e em vermelho a reta para os pontos no estado congestionado. O cenário de demanda atual com expansão está pintado em amarelo.

Para a cálculo da capacidade de movimentação. multiplicamos o  $outflow_{cap}$ , número de navios da transição dos estados normal para congestionado, pelo lote médio (LM) observado nas movimentações. Para a conversão da movimentação de unds para TEUs, no utilizou-se o fator médio de 1.57 TEUs/und verificado para o TECON Salvador em 2018:

$$Cap = 847 * 409 * 1.57 = 544.234 TEUs/ano \quad (5.5)$$



## 6 Conclusões

A partir do que foi comentado, conclui-se que:

- 1 O modelo de simulação realizado para presente estudo resultou em métricas de desempenho semelhantes ao modelo real, indicando que as métricas de construção e o modelo em si estão condizentes com a realidade operacional do Porto.
- 2 O TECON de Salvador está operando um pouco acima da capacidade ótima de movimentação. Tal fato explica a expansão, que já se encontra em andamento.
- 3 Considerando o ponto ótimo de movimentação através de análise gráfica, calcula-se que a capacidade de movimentação atual do Berço 611 é de aproximadamente 256 mil TEUS.
- 4 A operacionalização de mais um berço nos moldes do Berço 611 trará um incremento de capacidade de 290 mil TEUS/ano.
- 5 Após a conclusão das obras, sob as mesmas condições de demanda, o tempo médio de espera será reduzido em cerca de 80%.



# Referências

- AGERSCHOU, H. *Planning and Design of Ports and Marine Terminals*. Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons, 1983. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 10.
- ALFREDINI, P. *Obras e gestão de portos e obras e costas*. São Paulo, SP, Brasil: Blucher, 2009. Citado na página 1.
- ANTAQ, A. N. de T. A. *Anuário Estatístico*. 2019. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/Anuario/>>. Acesso em: 2019-03-15. Citado 19 vezes nas páginas 20, 21, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 e 41.
- BRASIL, E. de Planejamento e L. S. *Plano Nacional de Logística*. Brasília - DF: [s.n.], 2015. Disponível em: <<https://www.epl.gov.br/transporte-inter-regional-de-carga-no-brasil-panorama-2015#>>. Acesso em: 2019-04-11. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 2.
- BRASIL, M. dos Transportes Portos e A. C. S. *Plano de desenvolvimento e zoneamento de Salvador&Aratu-Candeias*. Salvador - BA: Planave S.A., 2018. Disponível em: <[http://www.codeba.com.br/eficiente/repositorio/PDZ/pdz\\_completo\\_2018.pdf](http://www.codeba.com.br/eficiente/repositorio/PDZ/pdz_completo_2018.pdf)>. Acesso em: 2019-04-11. Citado 3 vezes nas páginas 14, 18 e 19.
- BRASIL, M. dos Transportes Portos e A. C. S. *Plano mestre do Complexo Portuário de Aratu&Salvador*. Florianópolis - SC: LabTrans/UFSC, 2018. Disponível em: <[http://infraestrutura.gov.br/images/SNP/planejamento\\_portuario/planos\\_mestres/PM\\_REL\\_Metodologia\\_08.01.2018.pdf](http://infraestrutura.gov.br/images/SNP/planejamento_portuario/planos_mestres/PM_REL_Metodologia_08.01.2018.pdf)>. Acesso em: 2019-04-11. Citado 9 vezes nas páginas 10, 13, 15, 16, 17, 19, 20, 24 e 46.
- BRASIL, M. dos Transportes Portos e A. C. S. *Relatório de metodologia do lano Mestre*. Florianópolis - SC: LabTrans/UFSC, 2018. Disponível em: <[http://infraestrutura.gov.br/images/SNP/planejamento\\_portuario/planos\\_mestres/PM\\_REL\\_Metodologia\\_08.01.2018.pdf](http://infraestrutura.gov.br/images/SNP/planejamento_portuario/planos_mestres/PM_REL_Metodologia_08.01.2018.pdf)>. Acesso em: 2019-04-11. Citado 4 vezes nas páginas 9, 11, 23 e 46.
- BRASIL, M. dos Transportes Portos e A. C. S. *Porto sem Papel chega aos Terminais de Uso Privado*. [s.n.], 2019. Disponível em: <<http://infraestrutura.gov.br/component/content/article/17-ultimas-noticias/5234-porto-sem-papel-chega-aos-terminais-de-uso-privado.html>>. Acesso em: 2019-06-12. Citado na página 3.
- CODEBA, C. das Docas do Estado da B. *Regulamento de exploração dos Portos da CODEBA*. Salvador - BA: [s.n.], 2014. Disponível em: <<http://www.codeba.com.br/eficiente/repositorio/Codeba/4233.pdf>>. Acesso em: 2019-04-11. Citado 5 vezes nas páginas 18, 19, 20, 22 e 28.
- CPBA, C. dos Portos da B. *Normas e Procedimentos da Marinha dos Portos - BA*. [S.I.], 2015. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/cpba/?q=file/npcp-bapdf>>. Acesso em: 2019-04-15. Citado 4 vezes nas páginas 16, 17, 18 e 22.

FRIGERI, J. A.; BIACHI, M.; BACKES, R. G. Um estudo sobre o uso das técnicas de simulação no processo de elaboração e execução dos planejamentos estratégicos e operacionais. 01 2018. Citado na página 4.

GROENVELD, R. *Service Systems in Ports and Inland Waterways*. Delft, Holanda: [s.n.], 1993. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 10.

LIGTERINGEN, H. *Planning and funcional design*. Delft, Holanda: TU Delft, 1999. Citado 4 vezes nas páginas 1, 2, 3 e 10.

NOGUEIRA, F. *Simulação a Eventos Discretos*. [S.l.], 2009. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/epd042/files/2009/02/Simulacao1.pdf>>. Acesso em: 2019-04-11. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.

OLBA, X. B. et al. *Estimating Port Network Traffic Capacity*. *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*, v. 42, n. 1, p. 45–53, 2015. Citado 6 vezes nas páginas 3, 7, 8, 10, 11 e 44.

OLIVEIRA, D. *Revolução 4.0 nos portos*. 2018. Disponível em: <<https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/revolucao-4-0-nos-portos>>. Citado na página 3.

SANTANA, L. Fluxograma como ferramenta de mapeamento de processos no controle de qualidade de uma indústria de confecção. *Bahia Análise & Dados-Salvador*, v. 13, n. 2, p. 225–238, 2003. Citado na página 27.

SANTOS, A. d. et al. Precipitação na cidade de salvador: variabilidade temporal e classificação em quantis. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 4, 2016. Citado na página 15.

TEIXEIRA, C. A. N. et al. A cabotagem no brasil. 2018. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/cabotagem>>. Acesso em: 2019-06-18. Citado na página 1.

The World Association for Waterborne Transport Infrastructure. *Masterplans for the development of existing ports*. [S.l.], 2014. Citado na página 7.

TRISKA, Y. Cálculo de capacidade de movimentação de cais portuário: aplicação para terminal de graneis sólidos. 2015. Citado na página 3.

## Anexos



## ANEXO A – Script de simulação

# Simulation

June 18, 2019

## 1 Script de Simulação para operações portuárias

O modelo desenvolvido para simulação das operações portuárias foi escrito em Python utilizando as bibliotecas:

```
In [1]: # --- IMPORTAÇÃO DAS BIBLIOTECAS UTILIZADAS --- #
import simpy
import random
import numpy as np
import pandas as pd
```

Primeiro define-se os guichichês, os quais serão responsáveis pela formação da fila na área de fundeio. Definindo o canal de acesso e berços do TECON

```
In [2]: # Definindo os guichês que serão acessados de acordo com o tipo da carga

class channel(object):
    def __init__(self, env, num_channel):
        self.env = env
        self.way = simpy.Resource(env, num_channel)

    def Navigation(self):
        yield self.env.timeout(random.randint(76,104))

class berth_300(object):
    def __init__(self, env, num_berths):
        self.env = env
        self.berth = simpy.Resource(env, num_berths)

class berth_611(object):
    def __init__(self, env, num_berths):
        self.env = env
        self.berth = simpy.Resource(env, num_berths)
# ---
```

Depois, definimos a classe Navios ('ship'), que vai contêr os as caracteísticas da movimentação:

```
In [3]: # Definindo parâmetros intrínsecos a movimentação
# (1.name;2.cargo;3.weight;4.productivity;5.measurement)

class Ship(object):
    def __init__(self, name, cargo):
        self.name = name
        self.cargo = cargo
        if cargo == 'contêiner':
            self.productivity = random.gauss(47.207, 13.595)/60
            self.weight = random.gammavariate(3.4766, 117.67)
            self.measurement = 'und'
            self.pre = random.lognormvariate(-0.11457, 0.73338)*60
            self.pos = random.lognormvariate(0.56384, 0.56885)*60
        elif cargo == 'contêiner-300':
            self.productivity = random.weibullvariate(3.0315, 33.324)/60
            self.weight = random.gauss(371.73, 177.5)
            self.measurement = 'und'
            self.pre = random.lognormvariate(0.53083, 0.61616)*60
            self.pos = random.lognormvariate(0.34152, 0.96727)*60
        elif cargo == 'outras cargas-300':
            self.atracacao = random.gammavariate(1.3248, 34.253)*60
            self.weight = 1
            self.measurement = 't'
        else:
            self.atracacao = random.lognormvariate(4.4565, 0.82053)*60
            self.weight = 1
            self.measurement = 't'
    #
    # ---
```

Essas variações foram implementadas conforme o estudo dos indicadores abordado na seção 4

Vamos introduzir também uma lista para adicionarmos as métricas de construção e desempenho do sistema

```
In [4]: # Exportação das métricas de desempenho
metricas = []
```

```
In [5]: # Setup de alteração do reajuste de demanda
reaj = 1
sim = 1
```

Para relembrarmos o processo após a geração da classe Navios:

1. Verificação de destino do navio
2. Permissão para entrar
  - 1.Berço
  - 1.Canal de acesso

3. Tempo de navegação ao berço
4. Simulação do processo de operação
  1. Anotar tempo de atracação
  2. Adicionar tempo pré-inoperante
  3. Anotar tempo de início de operação
  4. Operacional = ('weight' / 'Produtivity')
  5. Anotar tempo de final de operação
  6. Adiciona tempo pós operacional
  7. Anotar tempo de fim de operação
5. Permissão para sair
  1. Caso 'não', contabilizasse o tempo de espera para sair
6. Para Processo

Lembrando que os dados de peso, produtividade, tempo inoperante pré e pós operacional são gerados aleatoriamente num intervalo específico correspondente ao intervalo interquartílico

```
In [6]: # Definindo o processo do navio

def main(env, name, cargo, cn, b300, b611, db):
    # ---

    chegada = env.now

    # Requisição do canal

    with cn.way.request() as req:
        yield req                                # Fila no canal
        yield env.timeout(random.randrange(80,100)) # Tempo de navegação

    # Definição das variáveis da classe navio

    ship = Ship(name, cargo)

    # Definindo requisição dos berços e todo processo de operação
    # a depender do tipo de mercadoria

    if cargo == 'contêiner':
        with b611.berth.request() as r1:
            yield r1                                # Fila para atracar
            atracacao = env.now
            yield env.timeout(ship.pre)             # Pré inoperante
```

```

        inicio_operacao = env.now
        yield env.timeout((ship.weight//ship.productivity))    # Ope
        fim_operacao = env.now
        yield env.timeout(ship.pos)                      # Pós inoperante
        desatracacao = env.now
        berth='611'
    elif cargo == 'contêiner-300':
        with b300.berth.request() as r2:
            yield r2                                # Fila para atracar
            atracacao = env.now
            yield env.timeout(ship.pre)           # Pré inoperante
            inicio_operacao = env.now
            yield env.timeout((ship.weight//ship.productivity))    # Ope
            fim_operacao = env.now
            yield env.timeout(ship.pos)          # Pós inoperante
            desatracacao = env.now
            berth='300'
    elif cargo == 'outras cargas-300':
        with b300.berth.request() as r2:
            yield r2
            atracacao = env.now
            inicio_operacao = env.now
            fim_operacao = env.now
            yield env.timeout(ship.atracacao)
            desatracacao = env.now
            berth='300'
    else:
        atracacao = env.now
        inicio_operacao = env.now
        fim_operacao = env.now
        yield env.timeout(ship.atracacao)
        desatracacao = env.now
        berth='only request channel'

    with cn.way.request() as r3:
        yield r3 # Requisição do canal e adiciona espera ao Tempo Pos Inoperante
        saida = env.now

    db.append([name, cargo, berth, ship.weight, float(chegada), float(atracacao),float(i)

# ---

# Definindo o processo de destinação

def setup(env,num_berths_300,num_berths_611,num_channel,db):
    # Iniciando contagem dos navios
    i=0

```

```

# Criando canal e berços
cn = channel(env,num_channel)
b300 = berth_300(env,num_berths_300)
b611 = berth_611(env,num_berths_611)

# Criando os navios a cada ~t minutos
while True:
    # Inicia os tempos entre chegadas sucessivas
    alpha = 2.1192#1.9384
    beta = 472.94 #8.8291
    var = (random.gammavariate(alpha, beta))*reaj

    #Começa com chamada dos navios
    yield env.timeout(var)

    # Nomeia o navio
    name = 'Navio %i' %i

    # Primeira coisa a se fazer é definir a carga
    cargo_choice = random.randrange(0,100)

    if (cargo_choice < 79): # 79% de contêineres para Berço 611
        cargo = 'contêiner'
    elif (79 <= cargo_choice < 87):
        cargo = 'contêiner-300' #8% de chance de contêiner - Berço 300
    elif (87 <= cargo_choice < 97):
        cargo = 'outras cargas' # 11% de só acessarem o canal
    else:
        cargo = 'outras cargas-300' #2% de outras cargas - Berço 300

    var = (random.gammavariate(alpha, beta)) # Tempo entre chegadas sucessivas

    # Chama o processo principal
    env.process(main(env, name, cargo,cn,b300,b611,db))

    # Atualiza o contador
    i += 1
#---

# ÍNÍCIO DO SETUP PARA SIMULAÇÃO

# Aqui iniciaremos os inputs para dar inicio a geração aleatoria
# dos dados segundo as distribuições estudadas
# Para a simulação do cenário atual, identificamos os Berços do
# Tecon Salvador com apenas um guichê cada um e o Canal de Acesso
# com 2 vias.

num_berths_300 = 1;

```

```

num_berths_611 = 2;
num_channel1 = 2;

dataBase = [] ;

#---

# Cria um ambiente e processa a simulação
#print('Simulação TECON %i'%g)
env = simpy.Environment()
env.process(setup(env,num_berths_300,num_berths_611,num_channel,dataBase))

# EXECUTA PARA x anos
n_ano=1
env.run(until=n_ano*364*24*60)

# ---
# ANÁLISE DE DADOS
# A seguir é realizado a analise dos dados gerados através da simulação

# Com a base de dados criada podemos calcular
# o tempo médio de espera das embarcações

df = pd.DataFrame(np.matrix(dataBase), columns=['nome', 'carga', 'berço', 'peso', 'chegada'])

# Convertendo os valores dos dados incluidos para 'float'
convert_dict={'peso':float,'chegada':float,'chegada':float,'atracacao':float,'inicio_operacao':float}
df = df.astype(convert_dict)

#Adição dos indicadores da simulação transformando pra hora

df['tempo_de_espera']=(df['atracacao']-df['chegada'])/60
df['pre_operacional']=(df['inicio_operacao']-df['atracacao'])/60
df['operacional']=(df['fim_operacao']-df['inicio_operacao'])/60
df['pos_operacional']=(df['desatracação']-df['fim_operacao'])/60
df['pos_operacional_s']=(df['saida']-df['fim_operacao'])/60
df['atracacao']=(df['desatracação']-df['atracacao'])/60
df['produtividade']=(df['peso']/df['operacional']) # Operacional

#Exportação da base simulada
#with pd.ExcelWriter('simulacao.xlsx') as writer: # doctest: +SKIP
#    df.to_excel(writer)

#Para a análise de dados, analisa-se o Berço 611, gargalo do sistema
#Filtrando Berço 611

b611=df[df['carga'] == 'contêiner']

```

```

te_c_611 = b611[['tempo_de_espera']]
pre_c_611 = b611[['pre_operacional']]
ope_c_611 = b611[['operacional']]
pos_c_611 = b611[['pos_operacional']]
atrac_c_611 = b611[['atracacao']]
lote_c_611 = b611[['peso']]
prod_c_611 = b611[['produtividade']]

#Métricas de construção
lmC611 = lote_c_611.mean()
inopreC611 = pre_c_611.mean().values
inoposC611 = pos_c_611.mean().values
prodmc611 = prod_c_611.mean()
inop=inopreC611+inoposC611

#Métricas de desempenho
#Tempo médio de espera e Outflow
tme = te_c_611.mean()
out = te_c_611.count()

#Índice de ocupação do cais
tempo_ocupado = atrac_c_611.sum()
tempo_disponivel=num_berths_611*n_ano*364*24
p = (tempo_ocupado/tempo_disponivel)

print('--- Simulação %s Concluída com Sucesso ---' % sim)

print('\nMétricas de construcao: \n')

print('Berço 611: \n')

print('Lote médio: %f unds/navio' % lmC611)
print('Produtividade média: %f und/h' % prodmc611)
print('Tempo inoperante médio pré operacional: %f horas' % inopreC611)
print('Tempo inoperante médio pós operacional: %f horas' % inoposC611)

print('\nMétricas de desempenho: \n')

print('Berço 611: \n')

print('Outflow: %i navios' % out)
print('Tempo médio de espera: %f horas' % tme)
print('Índice de ocupação (rô): %f \n' % p)

metricas.append([reaj,sim,float(lmC611.values),float(prodmc611.values),float(inop),float(inopreC611),float(inoposC611)])
sim += 1

--- Simulação 1 Concluída com Sucesso ---

```

Métricas de construção:

Berço 611:

Lote médio: 413.298243 unds/navio  
Produtividade média: 47.566857 und/h  
Tempo inoperante médio pré operacional: 1.115405 horas  
Tempo inoperante médio pós operacional: 2.031151 horas

Métricas de desempenho:

Berço 611:

Outflow: 426 navios  
Tempo médio de espera: 1.880342 horas  
Índice de ocupação (rô): 0.309210

```
In [7]: m = pd.DataFrame(metricas,columns=['Variação_TCS', 'N_Sim', 'Lote_médio', 'Produtividade'])
```

```
with pd.ExcelWriter('metricas.xlsx') as writer: # doctest: +SKIP
    m.to_excel(writer)
```